

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Samuli Räsänen

LIIMARISTIKKOPALKIN MITOITUS JA VERTAILU

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2016



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Huhtikuu 2016**  
**Rakennustekniikka**

Karjalankatu 3  
80200 JOENSUU  
p. 013 2606800

Tekijä(t)  
Samuli Räsänen

Nimeke  
Liimaristikkopalkin mitoitus ja vertailu

Toimeksiantaja  
Patenttitoimisto T. Poutanen Oy

**Tiivistelmä**

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Patenttitoimisto T. Poutanen Oy ja toimeksiantajan edustajana TkT Tuomo Poutanen. Työn tarkoituksena oli mitoittaa ja vertailla kahta liimaristikkopalkkia, joista toisessa käytettiin Poutasen kehittämää uutta sormiliitosta jo olemassa olevaan teräs-puu-liittorakenteiseen ristikkopalkkiratkaisuun. Ristikkopalkkeja oli tarkoitus käyttää välipohjarakenteena.

Mitoitus tehtiin standardin EN 1995-1-1 ja sen kansallisten liitteiden mukaan. Mallinnusohjelmanä toimi Dlubal RFEM. Työn teoriaosuus pitää sisällään tietoa sormiliitoksesta, ristikkorakenteista ja eurokoodimitoituksesta. Työn tuloksena saatiin aikaan mitoitus- ja vertailuaineisto liimaristikkopalkkeista.

Kieli  
suomi

Sivuja 41  
Liitteet 2  
Liitesivumäärä 32

**Asiasanat**

sormiliitos, puurakenteet, ristikkopalkki, eurokoodi, FEM-mallinnus,



**THESIS**  
**April 2016**  
**Degree Programme in**  
**Civil Engineering**

Tikkarinne 9  
80220 JOENSUU  
FINLAND  
p. 013 2606800

Author (s)  
Samuli Räsänen

Title  
Dimensioning and Comparison of Glued Timber Truss Joist

Commissioned by  
Patenttitoimisto T. Poutanen Ltd

**Abstract**

The client of this thesis was Patenttitoimisto T. Poutanen Ltd. and a representative of the client was D.Sc. Tuomo Poutanen. The purpose was to design and compare the two glued timber truss joists, one of which took place in the new finger joint Poutanen has developed, to an existing truss joist solution made of steel and timber. The truss joists were to be used as intermediate floor structure.

The design was carried out in accordance with EN 1995-1-1 standard and its national annexes. The program which was used in modelling was Dlubal RFEM. The theoretical part includes information about the finger joint, trusses and eurocode design. As a result the work design and comparison material about truss joists was obtained.

Language  
Finnish

Pages 41  
Appendices 2  
Pages of Appendices 32

**Keywords**

finger joint, timber structure, truss joist, eurocode, FEM modelling

# Sisältö

1	Johdanto .....	5
2	Liimaliitos puurakenteissa .....	5
	2.1 Sormiliitos .....	6
	2.1.1 Sormijatkettu sahatavara .....	7
	2.1.2 Yleispätevä sormiliitos .....	8
	2.2 Liimaus .....	9
3	Ristikkorakenne .....	9
	3.1 Staattinen malli .....	10
	3.2 Nykyisten puisten ristikkorakenteiden edut .....	11
	3.3 Nykyisten puisten ristikkorakenteiden rajoitukset .....	12
	3.4 Liimatun sormiliitoksen tuomat edut puuristikoissa .....	12
4	Eurokoodimitoitus .....	13
	4.1 Suunnittelun perusteet .....	13
	4.2 Rakenteen käyttöluokat .....	14
	4.3 Kuormat .....	15
	4.4 Kuormien aikaluokat .....	16
	4.5 Kuormitusyhdistelyt .....	16
	4.6 Materiaaliominaisuuden ominaisarvo .....	17
	4.7 Murtorajatilamitoitus .....	18
	4.7.1 Veto .....	18
	4.7.2 Puristus .....	19
	4.7.3 Taivutus .....	20
	4.7.4 Leikkaus .....	21
	4.7.5 Syysuuntaan nähden vinossa vaikuttavat puristusjännitykset .....	21
	4.7.6 Taivutuksen ja vedon yhteisvaikutus poikkileikkauksessa .....	22
	4.7.7 Taivutuksen ja puristuksen yhteisvaikutus poikkileikkauksessa .....	22
	4.7.8 Nurjahduskestävyys .....	23
	4.7.9 Kiepahduskestävyys .....	25
	4.8 Käyttöraajatilamitoitus .....	26
	4.8.1 Liitossiirtymä .....	26
	4.8.2 Taipuma .....	26
	4.8.3 Värähtely .....	27
5	Mallinnus .....	29
	5.1 FEM-mallinnus .....	30
	5.2 Mallinnettavat ristikkopalkit .....	31
	5.2.1 Rakenne 1: Triforce .....	32
	5.2.2 Rakenne 2: Liimaristikko .....	34
6	Rakenteiden vertailu .....	37
7	Pohdinta .....	39
	Lähteet .....	41

## Liitteet

Liite 1	Rakenne 1: Triforce
Liite 2	Rakenne 2: Liimaristikko

## 1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Patenttitoimisto T. Poutanen Oy ja toimeksiantajan edustajana TkT Tuomo Poutanen. Poutanen on kehittänyt nykyisin Suomessa laajalti ristikkorakentamisessa käytetyn naulalevyn ensimmäisen version jo vuonna 1979. Viime vuosina hänellä on ollut kehitystyön alla yleispätevä sormiliitos. Liitos on momenttia kantava ja mahdollistaa näin sellaisten puurakenteiden luomisen, mitkä ennen eivät ole olleet mahdollisia.

Työn tarkoituksena oli mitoitaa edellä mainitun liitoksen avulla toteutettu ristikkopalkki välipohjan kannatinrakenteeksi ja vertailla sen teknisiä ominaisuuksia jo olemassa olevan teräs-puu-liittorakenteisen ristikkopalkkiin ominaisuuksiin. Lopulta ristikkopalkkeja mallinnettiin kaksi erilaista ja tulosten avulla suoritettiin kolmen ristikkopalkin teknisten ominaisuuksien vertailu. Mallinnus tehtiin Dlubalin RFEM-ohjelmalla ja sen RF-Timber Pro-lisäosan avulla, mikä mitoitaa rakenteen standardin EN 1995-1-1 ja sen kansallisten liitteiden mukaan.

Työn kirjallisen osan alkupuolella on käyty läpi liima- ja sormiliitoksen teoriaa sekä ristikkorakenteiden ominaisuuksia. Tämän jälkeen on avattu eurokoodimitoituksen periaatteita ja käytettyjä kaavoja. Raportin loppupuolella on kerrottu mallinnustyön etenemisestä ja suoritettu rakenteiden vertailu pohdintoineen. Liitteissä on mallinnettujen ristikkopalkkien tarkemmat tiedot ja mitoituksen tulokset.

## 2 Liimaliitos puurakenteissa

Puuta on liimattu tuhansia vuosia luonnonliimoilla. Näiden liimojen toiminta perustuu proteiineihin. Kyseisten liimojen sään ja mikro-organismien sietokyky ei kuitenkaan ole rakentamisen nykyaikaisia vaatimuksia vastaavalla tasolla. Puuteollisuudessa käytetään nykyisin keinotekoisesti valmistettuja synteettisiä

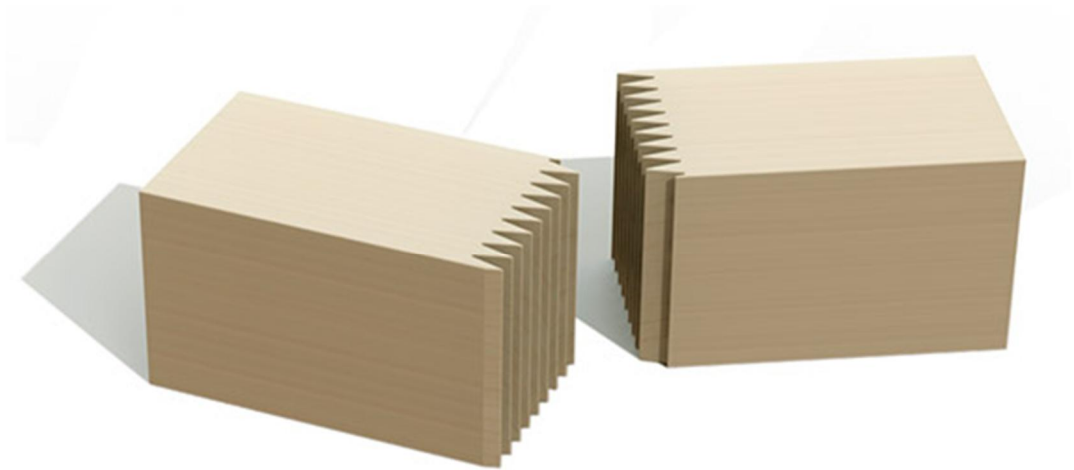
liimoja. Näiden muoviliimojen tekniset ominaisuudet ja hinta soveltuvat paremmin puuteollisuuden käyttöön. (PuuProffa 2012.)

Nykyään liimaliitosta hyödyntämällä tuotetaan useita erilaisia puun jatkojalosteita rakennusteollisuuden tarpeisiin. Näitä ovat erilaiset rakennuslevyt ja insinööripuutuotteet. Levytuotteet voidaan jakaa vanereihin sekä lastu- ja puukuitulevyihin. Insinööripuutuotteita ovat erilaiset sahatavaran jatkojalosteet, kuten sormijatkettu sahatavara, liimapuu, monikerroslevy (CLT) ja profiilituotteet kuten I-palkit sekä viilupuu. (Puuinfo 2016.)

Tämän opinnäytetyön liimaliitosta käsittelevässä osassa keskitytään opinnäytetyön kannalta olennaiseen sormiliitokseen ja sormijakettuun sahatavaraan. Suunniteltava ja vertailtava ristikkorakenne on tarkoitettu kantavaksi rakenteeksi ja opinnäytetyössä käsitellään tilanteen asettamat vaatimukset.

## **2.1 Sormiliitos**

Sormiliitos on liitos, jossa puukappaleet liitetään toisiinsa lomittamalla kappaleissa olevat sormet keskenään. Esimerkki sormiliitokseen käytetyistä kappaleista on esitetty kuvassa 1. Liitos on luja ja sen kestävyys perustuu suureen pinta-alaan liimaussaumassa, jossa kappaleen jännitykset muutetaan leikkausjännityksiksi, jotka liima ottaa vastaan. (Rakennustieto 1996, A12/6–7.) Liitos on pitkään ollut käytössä puusepänteollisuudessa. Rakennepuolella sitä on käytetty lähinnä sahatavaran jatkamiseen ja jonkin verran 3-nivelkehien nurkkaliitoksissa. (Poutanen 2009.)



*Kuva 1. Sormiliitoskappaleet (Puuproffa 2012)*

#### 2.1.1 Sormijatkettu sahatavara

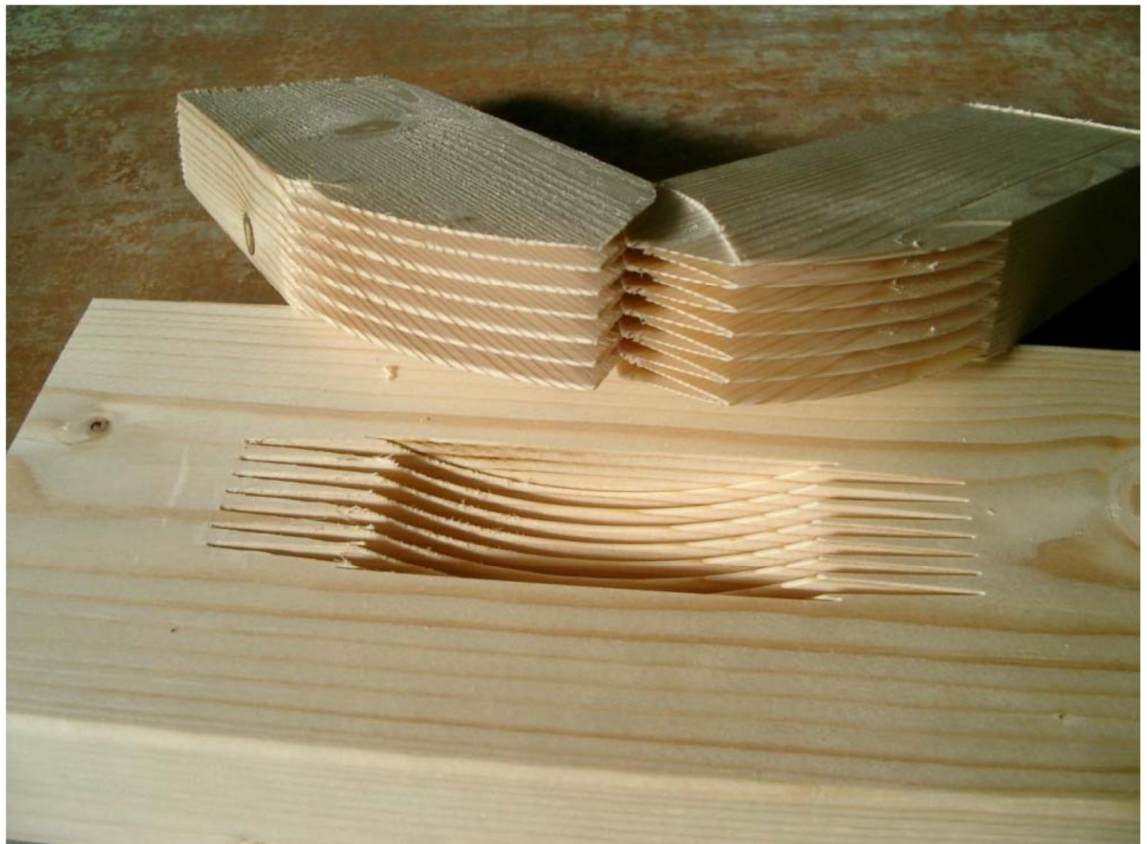
Sormiliitosta käytetään ja on käytetty jo pitkään sahatavaran jatkamiseen. Tässä normaalia sahatavaraa jatketaan tarvittaessa normaalia pidempää puutavaraa tai haluttaessa sahatavaralle tietyt ominaisuudet, esimerkiksi oksattomuus. Sormiliitoksella voidaan myös vähentää puutavaran hukkaa. Rakenteelliseen käyttöön tulevan sormijatketun sahatavaran valmistaminen on luvanvaraista ja tällöin sahatavarassa tulee olla käytettävän tuotestandardin mukainen leima. Jatketun sahatavaran ominaisuuksia ja tuotantoa ohjaavat seuraavat standardit:

- SFS-EN 15497
- EN 301
- EN 338
- EN 14081-1...4
- EN 408
- SFS 5878 INSTA 142.

(Puuinfo 2016, Puuinfo 2011, 20.)

### 2.1.2 Yleispätevä sormiliitos

Poutanen on kehittänyt yleispätevän sormiliitoksen, joka soveltuu kaikkiin geometrisiin muotoihin. Näin ollen sitä voidaan käyttää I-liitoksen lisäksi kaikissa yleisimmissä kulmaliitoksissa kuten T-, L- K- ja E-liitoksissa. Liitos mahdollistaa erikokoisten, niin ohuiden 10–40 mm:n paksuisten kuin paksujenkin, 50–250 mm:n paksuisten puukappaleiden liittämisen toisiinsa. Se kykenee kantamaan normaali- leikkaus- ja momenttikuormia ja sen puun syyn suuntainen halkeaminen voidaan estää. Liitos kestää enemmän kuormitusta kuin puu itse. Kuormituskokeissa puu liitoksen lähellä on murtunut, mutta liitos itsessään on säilynyt ehjänä. Liitos on visuaalinen eikä siinä ole näkyviä sormia liitoksen ulkopuolella. Liitos myös hiiltyy palotilanteessa muun puunrakenteen tavoin ja tästä johtuen sillä on parempi palonkestävyys kuin nykyisillä terästä sisältävillä liitostyypeillä. (Poutanen 2009; 2015.)



Kuva 2. Yksi yleispätevistä K-liitosmalleista. (Poutanen 2015)



## 2.2 Liimaus

Kantavissa rakenteissa käytettäviltä liimoilta edellytetään sellaista lujuutta ja säilyvyyttä, että liimasauma ja liitos pysyvät ehjänä rakenteen käyttöluokassa suunnitellun käyttöajan ajan. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL 2009, 57.) Puurakenteiden käyttöluokat olosuhdevaatimuksineen on käsitelty tämän opinnäytetyön kohdassa 4.3.

Standardi EN 301 ottaa kantaa puurakenteiden liimaukseen. Siinä määritellään tyyppiluokat I ja II. Tyyppiluokkaan I kuuluvia liimoja voidaan käyttää puurakentamisen kaikissa kolmessa käyttöluokassa. Rakenteet, joissa on käytetty tyyppiluokkaan II kuuluvia liimoja, on mahdollista käyttää vain käyttöluokissa 1 ja 2. Tällöin rajoittavana tekijänä toimii lisäksi lämpötila, joka ei saa pitkäaikaisesti ylittää 50 °C:n arvoa. Lisäksi kun kyse on rakenteellisesta liimauksesta, edellytetään EU:n vahvistaman laitoksen antamaa, kyseessä olevien tuotteiden liimauksen kattavaan, vaatimustenmukaisuustodistusta tehtaan laadunvarmentamismenettelystä (AC-luokka 1) (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL 2009, 57.)

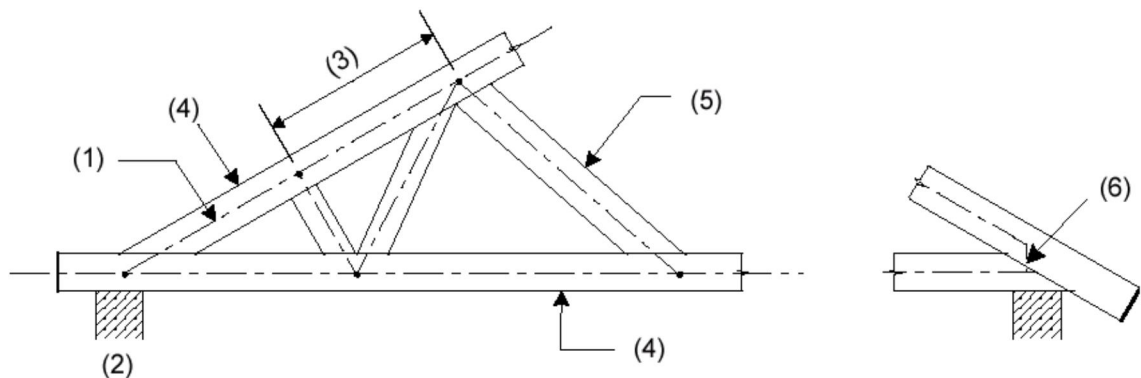
## 3 Ristikkorakenne

”Ristikko on järjestelmä suoria sauvoja, jotka on yhdistetty solmukohdistaan toisiinsa kantavaksi rakenteeksi” (Carling 2003, 92).

Sauvat jaetaan kahteen ryhmään sijaintinsa perusteella.

- Reunasauvat. Ylä- ja alapaarre
- Sisä- ja uumasauvat: Ryhmä pitää sisällään kaikki reunasauvojen väliin jäävät sauvat. Näitä ovat pystysuorat sauvat eli vertikaalit ja vinosauvat eli diagonaalit. (Rakennustieto 1996, B12/2.)

Kuvassa 3 on esitetty ristikkorakenteen osat. (1) systeemiiviiva, (2) tuki, (3) kenttäväli, (4) paarre, (5) uumasauva, (diagonaali tai vertikaali), (6) fiktiivinen palkki.



Kuva 3. Ristikon osat (EN 1995-1-1 kohta 5.4.2)

### 3.1 Staattinen malli

Statiikassa ristikko määritellään kitkattomilla nivelillä toisiinsa yhdistettyjen sauvojen muodostamaksi rakenteeksi, jossa sauvat ottavat vastaan vain veto- ja puristusrasituksia. Ristikot voidaan jakaa kahteen ryhmään staattisen tarkastelunsa perusteella.

- tasoristikot
- avaruusristikot.

Tasoristikko on ristikko jossa kaikki sauvat ovat samassa tasossa ja rakenne ottaa vastaan kuormitusta vain rakenteen tasossa. Avaruusristikko taas kantaa myös joihinkin ristikkorakenteen tasoihin nähden kohtisuoria kuormia. Suunnittelun, valmistuksen ja kuljetuksen helpottamiseksi avaruusristikot usein kootaan useasta tasoristikosta. (Rakennustieto 1996, B12/1–3; Salmi 1998, 245–246.)

Ristikkorakenteiden staattista mallia luodessa tehdään muutamia idealisointeja.

- Ristikon sauvat liittyvät toisiinsa kitkattomilla nivelillä.
- Ulkoiset voimat vaikuttavat vain ristikon niveliin.
- Sauvojen akselit leikkaavat nivelissä samassa pisteessä.

Todellisuudessa nykyisin käytössä olevat liitostekniikat tekevät ristikoiden liitoksista osittain momenttikuormaa kantavia. Ristikoiden statikan ratkaiseminen perustuu nivelten tasapainotarkasteluun. Tämä voidaan tehdä useammalla tavalla, joko graafisilla tai analyyttisillä menetelmillä sekä tietokonelaskennalla. (Rakennustieto 1996, B12/1–3; Salmi 1998, 245–246.)

### **3.2 Nykyisten puisten ristikkorakenteiden edut**

Ristikkorakenteella on useita etuja puurakentamisessa verrattuna massiivipuurakenteisiin. Ensimmäinen huomion arvoinen asia on käytetyn puun määrä rakenteessa. Materiaalin määrä vaikuttaa niin rakenteen kustannuksiin kuin sen painoon. Puuta kuluu vähemmän eli materiaalikustannukset ovat vähäisemmät ja kevyt rakenne on helpompi ja halvempi käsitellä ja kuljettaa. Kuljetusta helpottaa myös mahdollisuus suunnitella ristikko niin, että se jaetaan kuljetusta varten pienempiin osiin. Tällainen mahdollisuus helpottaa tilannetta erityisesti isoissa kohteissa, joissa rakenteen kuljetus muutoin vaatisi esimerkiksi erityiskalustoa tai liikennejärjestelyjen muutoksia. (Carling 2003, 92. Rakennustieto 1996, B12/3–5.)

Ristikkorakenteilla on myös suuri muodon vapaus, näin ollen niillä voidaan toteuttaa monimuotoisia rakenteita ja rakenne voidaan optimoida tilankäytöllisesti. Ristikkorakenteita käytetään perinteisistä omakotitalon harjaristikoista suurin, kaareviin hallirakenteisiin ja siltoihin. Tilankäytöllisesti rakenne helpottaa esimerkiksi talotekniikan asennusta, koska erillistä rei'itystä ei tarvita. Ristikkopalkit voidaan kannattaa, joko ylä- tai alapaarteestaan. Näin samalla rakenteella voidaan tarpeen mukaan luoda tilaa tai päästä tilaavuudeltaan pienempään rakennuskokonaisuuteen. (Carling 2003, 92. Rakennustieto 1996, B12/3–5.)

### 3.3 Nykyisten puisten ristikkorakenteiden rajoitukset

Nykyisiä puisten ristikoiden liitoksia tarkastellessa on huomioitava muutamia rakenteita ja niiden käyttöä rajoittavia tekijöitä. Liitokset eivät ole jäykkiä, joten niissä tapahtuu siirtymä, tämä taas aiheuttaa rakenteessa suuren taipuman. Tästä johtuen puisia ristikkorakenteita joudutaan usein esikorottamaan. (Rakennustieto 1996, B12/4–5, Poutanen 2009; 2015.)

Nykyiset liitostekniikat myös rajoittavat ristikoissa käytettävän puutavaran kokoa. Rakenteessa käytettävän puutavaran koon määrää useasti mekaanisen liitoksen vaatima tilantarve. Naulalevyjen käyttö johtaa myös siihen, että puutavaran on oltava saman paksuista reuna- ja uumasauvoissa. Tästä johtuen puun käyttö ei ole tehokasta puisissa ristikkorakenteissa vaan joudutaan käyttämään suurempaa puutavaraa kuin mitä kantavuus vaatisi. (Rakennustieto 1996, B12/4–5, Poutanen 2009; 2015.)

Naulalevyt ja muut metalliliittimet kestävät huonosti kosteutta ja palotilanteita. Korroosio aiheuttaa liittimien lujuuden heikkenemisen pitkällä aikavälillä. Palotilanteissa metalliset liittimet taas menettävät kantokykynsä lämpötilan nousun johdosta. Tästä johtuen rakenteita ei voida käyttää kosteissa olosuhteissa ja ne on erikseen suojattava palolta. Nykyiset puiset ristikot eivät ole myöskään visuaalisesti näyttäviä liitosten osalta. Tämä on palosuojauksen lisäksi toinen syy minkä takia niitä ei yleisesti jätetä näkyviin. (Rakennustieto 1996, B12/4–5, Poutanen 2009; 2015.)

### 3.4 Liimatun sormiliitoksen tuomat edut puuristikoissa

Liimattu sormiliitos on jäykkä, mikä tuo useita etuja rakenteeseen. Liitoksen siirtymä on olematon, jolloin myös koko rakenteen taipuma pienenee. Momenttivoimia välittävä liitos mahdollistaa myös sellaiset ristikko- ja kehärakenteet joita aikaisemmillä liitoksilla ei ole ollut mahdollista toteuttaa. Jäykän liitoksen myötä myös puutavaran kokoa voidaan pienentää, koska jännitykset jakautuvat tasaisemmin rakenteessa liitosten ansiosta. (Poutanen 2009; 2015.)

Liimattu sormiliitos mahdollistaa myös erikokoisten puukappaleiden liittämisen toisiinsa tehokkaasti. Näin rakenteessa puutavaran kokoa ei määrää enää liitoksen kiinnikkeiden tilan tarve vaan rakenteen rasitukset. Voidaan siis luoda ristikko, jossa reuna- ja uumasauvat ovat hyvinkin eripaksuisia. Edellä mainitut seikat säästävät materiaalia ja näkyvät näin ollen myös pienempänä materiaalikustannuksena ja rakennepainona. (Poutanen 2009; 2015.)

Palon kestävyys on liimatulla liitoksella käytettyä puumateriaalia vastaava. Liitos hiiltyy palotilanteessa muun rakenteen tapaan. Näin ollen erillistä palosuojausta ei tarvita. Liimatusta liitoksesta saadaan myös visuaalinen, koska sen ulkopuolelle ei jää näkyviä työstöjälkiä. Yhdistettynä palonkestokykyyn tämä mahdollistaa näkyville jätettävän, näyttävän puisen ristikkorakenteen luomisen. Liimatulla sormiliitoksella tuotettuun puuristikoon ei tule lainkaan metalliosia. Näin ollen rakennetta voidaan käyttää myös kosteissa olosuhteissa, joissa metalliliittimet joutuisivat alttiiksi korroosiolle. Vain puun ominaisuudet rajoittavat käyttöä. Metalliosien puuttuminen rakenteesta tekee siitä helpomman kierrättää tai hävittää ja näin myös ekologisemman. Liiman kustannukset ovat myös murto-osa esimerkiksi naulalevyjen kustannuksista. (Poutanen 2009; 2015.)

## **4 Eurokoodimitoitus**

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli mitoittaa liimatulla sormiliitoksilla toteutettu välipohjarakenteeksi tarkoitettu puinen ristikkopalkki. Itse rakenteen mitoitus tehtiin tietokonemallinnuksen avulla, opinnäytetyön tässä osassa on avattu mitoituksessa käytettyä eurokoodinormistoa.

### **4.1 Suunnittelun perusteet**

Puurakenteet suunnitellaan eurokoodi 5 (suunnittelu standardi EN 1995-1-1...2) ja sen kansallisten liitteiden mukaan. Suomessa suunnittelua tehdään myös

edellä mainittuihin standardeihin pohjautuvalla RIL-205-2009 suunnitteluohjeella. Suunnittelun perustana ovat EN 1990: Rakenteiden suunnitteluperusteet ja EN 1991: Kuormat standardit, joissa esitetyt ehdot ja vaatimukset suunnittelulle ja rakenteiden kuormitukselle tulee täyttyä. (SFS-EN 1995-1-1, 2.1.1.)

Eurokoodin mukaisessa mitoituksessa käytetään rajatilamitoitusta ja osavarmuuslukumenetelmää. Rajatilimitoituksen osalta jako on seuraava.

- murtorajatilat
- käyttörajatilat

Murtorajatilassa mitoitetaan rakenteiden kestävyyttä ja tasapainoa. Käytännössä tämä tarkoittaa rakenteen tarkastelua veto-, puristus-, taivutus ja vääntöjännitys tilanteissa. Myös kappaleen nurjahdus ja kiepahdus mahdollisuus tulee tarkastaa. Käyttörajatilamitoituksessa huomioidaan kuormien ja kosteuden aiheuttamien rasitusten muodonmuutostila ja varmistetaan, että se ei aiheuta vaurioita pintamateriaaleille tai haittaa rakenteen toiminnalle ja ulkonäkövaatimuksille. Tämä tarkoittaa taipuman ja lattiapalkiston värähtelymitoitusta. (SFS-EN 1995-1-1, 2.1.1.)

## **4.2 Rakenteen käyttöluokat**

Puurakentamisessa rakenteet jaetaan käyttöluokkiin ympäristöolosuhteiden mukaisesti. Laskennassa se vaikuttaa materiaalin lujuusominaisuuden mitoitusarvoon. EN 1995-1-1 kohta 2.3.1.3.

- Käyttöluokka 1:  
Materiaalien kosteus on lämpötilaa 20 °C vastaava ja ympäröivän ilman suhteellinen kosteus ylittää arvon 65 % vain muutamana viikkona vuodessa.
- Käyttöluokka 2:  
Materiaalien kosteus on lämpötilaa 20 °C vastaava ja ympäröivän ilman suhteellinen kosteus ylittää arvon 85 % vain muutamana viikkona vuodessa.
- Käyttöluokka 3:

Ilmasto-olosuhteet johtavat suurempiin kosteusarvoihin kuin käyttöluokassa 2. Rakenteen säilyvyyteen käyttöluokassa 3 ottaa kantaa standardi EN 335 seuraavasti:

3.1: Rakenne ei märkänä pitkiä ajanjaksoja.

3.2 Rakenne märkänä pitkiäkin ajanjaksoja.

### 4.3 Kuormat

Mitoituksessa tulee huomioida rakenteeseen vaikuttava kuormitus. Eurokoodi jaottelee kuormat seuraavasti.

- Pysyvät kuormat: esimerkiksi rakenteiden tai kiinteiden laitteiden omapaino
- Muuttuvat kuormat: hyöty-, lumi- ja tuulikuormat
- Onnettomuuskuormat: esimerkiksi räjähdys ja ajoneuvojen törmäykset

Opinnäytetyön lattiapalkistoksi tarkoitettua ristikkopalkkia kuormittaa näistä rakenteen omapaino ja rakenteen päälle tuleva hyötykuorma. Yleisimpiä hyötykuorman arvoja on esitetty taulukossa 1. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL 2008, 29.)

*Taulukko 1. Hyötykuormien arvoja (Puuinfo 2011, taulukko 2.1)*

Käyttötarkoitukseluokka ja tila	tasainen kuorma $q_k$ (kN/m <sup>2</sup> )	pistekuorma $Q_k$ (kN)	vaakakuorma $q_k$ (kN/m)
<b>Luokka A: Asuinitilat</b>			
- Lattiat	2,0	2,0	0,5
- Portaat	2,0	2,0	0,5
- Parvekkeet	2,5	2,0	0,5
<b>Luokka B: Toimistotilat</b>	2,5	2,0	0,5
<b>Luokka C: Kokoontumistilat</b>			
-C1: Pöytäalueet	2,5	3,0	0,5
-C2: Kiinteiden istuimien alueet	3,0	3,0	1,0
-C3: Esteettömät alueet	4,0	4,0	1,0
-C4: Liikuntatilat ja näyttämöt	5,0	4,0	1,0
-C5: Tungokselle alttiit alueet	6,0	4,0	3,0

#### 4.4 Kuormien aikaluokat

Kuormille määritetään aikaluokat kuvamaa kuormituksen kestoa rakenteen käyttöiän aikana. EN 1995-1-1 kohta 2.3.1.2. Laskennassa se vaikuttaa materiaalin lujuusominaisuuden mitoitusarvoon. Aikaluokat taulukossa 2.

*Taulukko 2. Kuormien aikaluokat (EN 1995-1-1, taulukko 2,1)*

Kuorman aikaluokka	Ominaiskuorman vaikutusajan kertymän suuruusluokka
Pysyvä	yli 10 vuotta
Pitkäaikainen	6 kuukautta – 10 vuotta
Keskipitkä	1 viikko – 6 kuukautta
Lyhytaikainen	alle yksi viikko
Hetkellinen	

#### 4.5 Kuormitusyhdistelyt

Mitoitettava ristikkopalkki on tarkoitettu välipohjarakenteeksi joten se kuuluu seuraamusluokkaan CC2 ja kohdassa 4.2 mainittujen vaikuttavien kuormien ansiosta murtorajatilan kuormitusyhdistelmät voidaan laskea RIL 205-1-2009 esittämässä muodossa liitteen B kohdan B.2.2 mukaan.

- Pysyvä aikaluokka:  $1,35G_{kj}$
- Keskipitkä aikaluokka:  $1,15G_{kj} + 1,5Q_{k,1} + 1,05Q_{k,2}$
- Hetkellinen aikaluokka: suurempi seuraavista
 
$$1,15G_{kj} + 1,5Q_{k,t} + 1,05Q_{k,1} + 1,05Q_{k,2}$$

$$1,15G_{kj} + 1,5Q_{k,1} + 1,05Q_{k,2} + 0,9Q_{k,t}$$

Käyttörajatila mitoituksessa käytetään RIL 205-1-2009 liitteen B kohdassa B.2.3 esitettyä muotoa (kaava1).

$$G_{kj} + Q_{k,1} + 0,7Q_{k,2} \quad (1)$$

missä

- $G_{jk}$  = pysyvien kuormien ominaispaino
- $Q_{k,1}$  = lumi- ja hyötykuorman ominaisarvoista suurempi
- $Q_{k,1}$  = lumi- ja hyötykuorman ominaisarvoista pienempi
- $Q_{k,t}$  = tuulikuorman ominaisarvo



#### 4.6 Materiaaliominaisuuden ominaisarvo

Osavarmuuslukumenetelmässä materiaalin lujuusominaisuuden mitoitusarvo lasketaan (kaava 2) heikentämällä lujuusominaisuuden ominaisarvoa erinäisillä kertoimilla. EN 1995-1-1 kohta 2.4.1.

$$X_d = k_{mod} \frac{X_k}{\gamma_M} \quad (2)$$

missä

- $X_d$  = lujuusominaisuuden mitoitusarvo  
 $X_k$  = lujuusominaisuuden ominaisarvo  
 $\gamma_M$  = materiaaliominaisuuden osavarmuusluku  
 $k_{mod}$  = muunnoskerroin, jonka avulla otetaan huomioon kuorman keston ja kosteuden vaikutus

Taulukko 3.  $k_{mod}$  muunnoskertoimet (EN 1995-1-1, taulukko 3.1)

Materiaali	Standardi	Käyttö luokka	Kuorman aikaluokka				
			Pysyvä kuorma	Pitkäaikainen kuorma	Keskipitkä kuorma	Lyhytaikainen kuorma	Hetkellinen kuorma
Sahatavara	EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Liimapuu	EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
LVL	EN 14374, EN 14279	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Vaneri	EN 636 [A1] Tyypit EN 636-1 Tyypit EN 636-2 Tyypit EN 636-3 <A1]	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
OSB-lastulevy	EN 300 OSB/2 OSB/3, OSB/4 OSB/3, OSB/4	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Muu lastulevy	EN 312 [A1] Tyypit P4, tyypit P5 Tyypit P5 Tyypit P6, tyypit P7 Tyypit P7 <A1]	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
		1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Kova kuitulevy	EN 622-2 HB.LA, HB.HLA1 tai 2 HB.HLA1 tai 2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
Puolikova kuitulevy	EN 622-3 MBH.LA1 tai 2 MBH.HLS1 tai 2 MBH.HLS1 tai 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		2	–	–	–	0,45	0,80
MDF-levy	EN 622-5 MDF.LA, MDF.HLS MDF.HLS	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		2	–	–	–	0,45	0,80

Taulukko 4.  $\gamma_M$  osavarmuusluvut (Puuinfo 2011, taulukko 2.7)

Perusyhdistelmät:	
Sahatavara ja pyöreä puutavara yleensä	1,4
Havusahatavara, jonka lujuusluokka $\geq$ C35	1,25
Liimapuu, LVL	1,2
Puulevyt	1,25
Liitokset	*)
<b>Onnettomuusyhdistelmät</b>	<b>1,0</b>

Lujuusominaisuuksien ominaisarvot sahatavaralle esitetään RIL 205-1-2009 taulukossa 3.3S. Muunnoskertoimen  $k_{mod}$  arvot näkyvät taulukossa 3. Materiaaliominaisuuden osavarmuusluku  $\gamma_M$  arvoja esitetään taulukossa 4.

## 4.7 Murtorajatilamitoitus

### 4.7.1 Veto

Mitoitus vetorasituksille tehdään seuraavilla kaavoilla.

EN 1995-1-1 kohta 6.1.2 syysuuntainen veto (kaava 3)

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \quad (3)$$

missä

$$\begin{aligned} \sigma_{t,0,d} &= \text{syysuuntaisen vetojännityksen mitoitusarvo} \\ f_{t,0,d} &= \text{vetolujuuden mitoitusarvo syysuuntaisessa vedossa} \end{aligned}$$

EN 1995-1-1 kohta 6.1.3 syysuuntaa vastaan kohtisuora veto (kaava 4)

$$\sigma_{t,90,d} \leq f_{t,90,d} \quad (4)$$

missä

$\sigma_{t,90,d}$  = syysuuntaa vastaan kohtisuoran vetojännityksen  
mitoitusarvo

$f_{t,90,d}$  = vetolujuuden mitoitusarvo syysuuntaa vastaan  
kohtisuorassa vedossa

#### 4.7.2 Puristus

Mitoitus puristusrasituksille tehdään seuraavilla kaavoilla.

EN 1995-1-1 kohta 6.1.4 syysuuntainen puristus (kaava 5)

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \quad (5)$$

missä

$\sigma_{c,0,d}$  syysuuntaisen puristusjännityksen mitoitusarvo

$f_{c,0,d}$  puristuslujuuden mitoitusarvo syysuuntaisessa  
puristuksessa

EN 1995-1-1 kohta 6.1.5 syysuuntaa vastaan kohtisuora puristus (kaava 6).

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} f_{c,90,d} \quad (6)$$

$\sigma_{c,90,d}$  lasketaan seuraavalla kaavalla (kaava 7).

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,d}}{A_{ef}} \quad (7)$$

missä

$\sigma_{c,90,d}$  = kosketusjännityksen pinnalla vaikuttavan  
puristusjännityksen mitoitusarvo

$f_{c,90,d}$  = puristuslujuuden mitoitusarvo syysuuntaa vastaan  
kohtisuorassa puristuksessa

$k_{c,90}$	= kerroin jolla huomioidaan kuorman sijainti, puun halkeamismahdollisuus ja puristuman suuruus. Kerroin saa arvon 1,25 havupuisella sahatavaralla.
$f_{c,90,d}$	= syitä vastaan kohtisuoran puristavan kuorman mitoitusarvo
$A_{ef}$	= syitä vastaan kohtisuoran puristavan kuorman tehollisen kosketuspinnan pinta-ala

#### 4.7.3 Taivutus

Mitoitus taivutusrasitukselle tehdään seuraavilla kaavoilla.

EN 1995-1-1 kohta 6.1.6 (kaava 8 ja kaava 9)

Seuraavien ehtojen tulee täyttyä

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (8)$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (9)$$

missä

$\sigma_{m,y,d}$ ja $\sigma_{m,z,d}$	= jännitysten mitoitusarvot pääakselien suhteen tapahtuvassa taivutuksessa
$f_{m,y,d}$ ja $f_{m,z,d}$	= vastaavien taivutuslujuuksien mitoitusarvot
$k_m$	kerroin jolla huomioidaan jännitysjakauman ja materiaalin epähomogeenisyyden vaikutus kahteen suuntaan taivutetun poikkileikkauksen taivutuskestävyyteen. Sahatavara, suorakaidepoikkileikkaus saa arvon 0,7

#### 4.7.4 Leikkaus

Mitoitus leikkausrasitukselle tehdään seuraavalla kaavalla

EN 1995-1-1 kohta 6.1.7 (kaava 10)

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad (10)$$

missä

$$\begin{aligned} \tau_d &= \text{leikkausjännityksen mitoitusarvo} \\ f_{v,d} &= \text{vallitsevaa tilannetta vastaava leikkauslujuuden} \\ &\quad \text{mitoitussarvo} \end{aligned}$$

Taivutettujen sauvojen leikkauskestävyyden mitoituksessa otetaan huomioon halkeamien vaikutus käyttämällä sauvan tehollista leveyttä  $b_{ef}$ , joka saadaan kaavalla 11

$$b_{ef} = k_{cr} b \quad (11)$$

missä

$$\begin{aligned} b &= \text{sauvan poikkileikkauksen leveys} \\ k_{cr} &= \text{kerroin, suositussarvo sahatavaralle 0,67} \end{aligned}$$

#### 4.7.5 Syysuuntaan nähden vinossa vaikuttavat puristusjännitykset

Mitoitus syysuuntaan nähden vinossa vaikuttaville puristusjännityksille tehdään seuraavalla kaavalla.

EN 1995-1-1 kohta 6.2.2 (kaava 12)

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (12)$$

missä

$\sigma_{c,\alpha,d}$	= kulmassa $\alpha$ syynsuunnan suhteen vaikutta puristusjännitys
$f_{c,0,d}$	= puristuslujuuden mitoitusarvo syysuuntaisessa puristuksessa
$f_{c,90,d}$	= puristuslujuuden mitoitusarvo syysuuntaa vastaan kohtisuorassa puristuksessa
$k_{c,90}$	= kerroin, jolla huomioidaan kuorman sijainti, puun halkeamismahdollisuus ja puristuman suuruus. Kerroin saa arvon 1,25 havupuisella sahatavaralla.

#### 4.7.6 Taivutuksen ja vedon yhteisvaikutus poikkileikkauksessa

Mitoitus taivutuksen ja vedon yhteisvaikutukselle tehdään seuraavilla kaavoilla.

EN 1995-1-1 kohta 6.2.3 (kaava 13 ja kaava 14)

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (13)$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (14)$$

käytetyt merkinnät löytyvät tämän työn kohdista 4.7.1 ja 4.7.3

#### 4.7.7 Taivutuksen ja puristuksen yhteisvaikutus poikkileikkauksessa

Mitoitus taivutuksen ja puristuksen yhteisvaikutukselle tehdään seuraavilla kaavoilla.

EN 1995-1-1 kohta 6.2.4 (kaava 15 ja kaava 16)

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (15)$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (16)$$

käytetyt merkinnät löytyvät tämän työn kohdista 4.7.2 ja 4.7.3

#### 4.7.8 Nurjahduskestävyys

EN 1995-1-1 kohta 6.3.2

Jos y- ja z-suunnassa määritellyt suhteelliset hoikkuudet  $\lambda_{rel,y} \leq 0,3$  ja  $\lambda_{rel,z} \leq 0,3$  nurjahduskertoimet  $k_{c,y}$  ja  $k_{c,z}$  saavat arvon 1 ja mitoitusehtona käytetään kohdassa 4.7.7 esitettyjä kaavoja. Muissa tapauksissa käytetään seuraavia kaavoja. (kaava 17 ja kaava 18)

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (17)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (18)$$

$k_{c,y}$  ja  $k_{c,z}$  termit lasketaan seuraavien kaavojen avulla. (kaavat 19, 20, 21, 22, 23 ja 24).

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \leq 1 \quad (19)$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \leq 1 \quad (20)$$

$$k_y = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) \quad (21)$$

$$k_z = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) \quad (22)$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{0,k}}{E_{0,05}}} \quad (23)$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{0,k}}{E_{0,05}}} \quad (24)$$

Sauvan hoikkuusluku lasketaan seuraavasti (kaava 25).

$$\lambda_y = \frac{L_{c,z}}{i_y} \quad (25)$$

Vastaava laskenta suoritetaan myös y-suunnan nurjahdukselle, hoikkuusluku  $\lambda_z$

missä

$k_{c,y}$ ja $k_{c,z}$	= nurjahduskertoimet y- ja z-akselien suhteen
$\lambda_{rel,y}$ ja $\lambda_{rel,z}$	= muunnettu hoikkuus y- ja z-akselien suhteen
$\lambda_y$ ja $\lambda_z$	= hoikkuusluku y- ja z-akselien suhteen
$E_{0,05}$	= syynsuuntaista kuormitusta vastaavan kimmokertoimen ominaisarvo
$\beta_c$	= alkukäyrydestä riippuva kerroin, sahatavaralla 0,2
$L_{c,z}$	= nurjahduspituus z-akselin suuntaisessa nurjahduksessa
$i_y$	= poikkileikkauksen jäyhyyssäde y-akselin suhteen. Suorakaidepoikkileikkauksella $i_y = h/\sqrt{12}$ , kun $h$ on sivumitta nurjahduksen suuntaan.

muut käytetyt merkinnät löytyvät tämän työn kohdista 4.7.3 ja 4.7.5



#### 4.7.9 Kiepahduskestävyys

Mitoitus kiepahdusta vastaan tehdään seuraavilla kaavoilla.

EN 1995-1-1 kohta 6.3.3

Vain momenttirasitusta (kaava 26).

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d} \quad (26)$$

Momentti- ja puristusrasitus (kaava 27).

$$\left( \frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (27)$$

$k_{crit}$  lasketaan seuraavasti (kaavat 28, 29 ja 30).

$$\text{kun } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 = 1 \quad (28)$$

$$\text{kun } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 = 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} \quad (29)$$

$$\text{kun } 1,4 < \lambda_{rel,m} = \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} \quad (30)$$

$\lambda_{rel,m}$  lasketaan seuraavasti (kaava 31 ja kaava 32).

$$\sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \quad (31)$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y} \quad (32)$$

missä

$k_{crit}$  = kerroin jolla huomioidaan kiepahdusriskin takia pienentynyt taivutuskestävyys

$\lambda_{rel,m}$	= suhteellinen hoikkuus
$\sigma_{crit}$	= kriittinen taivutusjännitys
$G_{0,05}$	= syysuuntaisessa tasossa syntyvää leikkausmuodonmuutosta vastaava liukukerroin
$I_z$	= heikomman suunnan jäyhyysmomentti
$I_{tor}$	= vääntöjäyhyysmomentti
$l_{ef}$	= palkinkin tehollinen pituus
$W_y$	= vahvemman suunnan taivutusvastus

muut käytetyt merkinnät löytyvät tämän työn kohdista 4.7.2, 4.7.3, 4.7.8

## 4.8 Käyttörajalamitoitus

### 4.8.1 Liitossiirtymä

EN 1995-1-1 kohta 7.1

Liitossiirtymää kuvataan termillä  $K_{ser}$ . Mitoitettavassa ristikkopalkissa käytetään liimattua sormiliitosta, jonka liitossiirtymä on olematon.

### 4.8.2 Taipuma

Lopputaipuma määritellään EN 1995-1-1 kohdassa 7.2 (kaava 33). Taipuman muodostuminen on esitetty kuvassa 4. ja taipumarajat taulukossa 5.

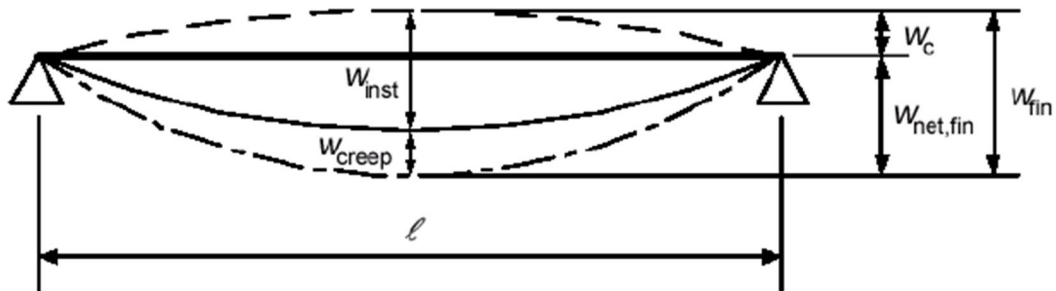
$$w_{net,fin} = w_{inst} + w_{creep} - w_c = w_{fin} - w_c \quad (33)$$

missä

$w_{net,fin}$	= lopputaipuma
$w_{inst}$	= hetkellinen taipuma
$w_{creep}$	= viruman aiheuttama taipuma

$w_c$  = esikorotus (jos käytetään)

$w_{fin}$  = kokonaistaipuma



Kuva 4. Taipuman muodostuminen (EN 1995-1-1, kohta 7.2)

Taulukko 5. Taipumarajat (Puuinfo 2011, taulukko 4.1)

Rakenne	$w_{inst}^{1)}$	$w_{net,fin}^{2)}$	$w_{fin}^{3)}$
Pääkannattimet	$l/400$	$l/300$	$l/200$
Orret ja muut toisiokannattimet	-	$l/200$	$l/150$
Rakennuksen vaakasiirtymä	-	$H/300$	-

$l$  on jänneväli  
 $H$  on rakennuksen tarkasteltavan kohdan korkeus  
<sup>1)</sup> Koskee pelkästään lattioita  
<sup>2)</sup> Koskee suoria ja esikorotettuja rakenteita, mutta ei tukipisteiden välillä kaarevia tai taitteellisia kannattimia  
<sup>3)</sup> Koskee esikorotettuja sekä tukipisteiden välillä kaarevia tai taitteellisia rakenteita

#### 4.8.3 Värähtely

Värähtelymitoitusta käsitellään EN 1995-1-1 kohdassa 7.3 ja sen kansallisessa liitteessä kohdassa 7.3.3.(2)

Rajatilamitoituksessa huomioidaan kävelystä aiheutuva värähtely mitoitettaessa asuin-, kokoontumis-, myymälä- ja toimistorakennuksia. Erityistarkastelu on tarpeellista jos rakenteen alin ominaistajuus jää alle 9 Hz. Jos rakenteen alin ominaistajuus  $f_1 \geq 9 \text{ Hz}$  tarkistetaan seuraavan ehdon täyttyminen. (kaava 34)

$$\delta \leq 0,5 \text{ mm} \quad (34)$$

Yhteen suuntaan kantavan lattian alin ominaistajuus lasketaan seuraavasti (kaava 35).

$$f_1 = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}} \quad (35)$$

$\delta$  lasketaan valitsemalla seuraavista kaavoista (kaava 36 ja kaava 37) pienemmän arvon antava

$$\frac{Fl^2}{42 k_\delta (EI)_l} \quad (36)$$

$$\frac{Fl^3}{48 s (EI)_l} \quad (37)$$

$k_\delta$  lasketaan seuraavasti (kaava 38)

$$\sqrt[4]{\frac{(EI)_b}{(EI)_l}} \quad (38)$$

rajoituksena  $k_\delta \leq b/l$

missä

$\delta$	= 1kN staattisen pistekuorman aiheuttama suurin hetkellinen painuma lattiapalkin kohdalla.
$f_1$	= rakenteen alin ominaistajuus
$l$	= rakenteen jänneväli [m]
$b$	= rakenteen leveys [m]
$(EI)_l$	= rakenteen kantavaa suuntaa $l$ vastaava taivutusjäykkyys leveysyksikköä kohti [ $Nm^2/m$ ]
$(EI)_b$	= rakenteen poikittaissuunnan $b$ vastaava taivutusjäykkyys leveysyksikköä kohti [ $Nm^2/m$ ]

$m$	= rakenteen omanpainon ja pitkäaikaisen hyötykuorman ( $\Psi_2 q_k$ ) pinta-alayksikköä kohden yhteen laskettu massa [ $kg/m^2$ ]
$s$	= lattia palkkien välinen etäisyys [ $m$ ]

## 5 Mallinnus

Vertailua varten päädyttiin toimeksiantajan kanssa seuraavanlaiseen ratkaisuun. Luotiin kaksi erilaista liimaliitoksin toteutettua puista ristikkopalkkimallia, jotka perustuivat erilaisiin liimaliitoksiin. Molemmilla liitoksilla toteutetuista rakenteista mallinnettiin työn aikana useampi versio, joista vertailuun valikoitui sopivimmat. Vertailurakenteena toiminut olemassa oleva ristikkopalkkirakenne oli toteutettu teräs-puu-liittorakenteena.

Mallinnus tehtiin Dlubalin RFEM-ohjelmalla ja sen RF-Timber Pro-lisäosan avulla. RFEM on FEM-mallinnukseen perustuva ohjelma ja RF-Timber Pro-lisäosa mitoitaa puurakenteen eurokoodi standardien ja Suomen kansallisten liitteiden mukaan. RFEM-malleilla mitoitettiin rakenteet murtorajatilassa ja taipuman osalta. Käyttörajan lattiarakenteen painuma ja värähtely mitoitusta varten tehtiin Exel-ohjelmalla laskentataulukko. RFEM-mallinnusta varten piirrettiin ensin AutoCad-ohjelmalla periaatepiirrokset ristikkopalkeista. Tämä nopeutti RFEM-mallin tekemistä ja varmisti halutun kaltaisen mallin luomisen. Ohjelma oli uusi ja sen käyttäminen alussa melko hidasta. Rakteksolutionin Toomas Kaljas antoi päivän mittaisen käyttökoulutuksen ohjelmaan alkutalvesta 2015 ja avusti mallinnuksessa sähköpostitse kevään 2016 aikana. Erityisesti apu tuli tarpeeseen liitosten epäkeskisyyden mallintamisessa.

Ohjelmalla ei ollut mahdollista mallintaa tarkkaan käytettyjä sormiliitoksia. Laskenta suoritettiin siten, että mallissa olevat liitokset määritettiin jäykiksi liitoksiksi, jotka siirtävät momenttia. Tämä tarkoittaa että ohjelma ei mitoitanut itse liitoksia. Tämän kaltainen yksinkertaistus voitiin tehdä, koska tehdyissä kuormituskokeissa oli todettu liitoksen kestävänsä suurempia kuormia kun itse

puutavaran. RFEM-ohjelman ristikkotyökalulla luotiin perusmalli, jota muokkaamalla luotiin halutunlainen malli. Käytännössä tämä tarkoitti sauvatyypin muuttamista momenttia kantaviksi, jotta malli kuvasi momenttien siirtoon kykeneviä liimattuja sormiliitoksia oikein. Myös liitosepäkeskisyydet lisättiin malliin manuaalisesti muuttamalla ja lisäämällä solmupisteitä. RFEM ja Exel laskennan tulokset liitteissä 1 ja 2.

## 5.1 FEM-mallinnus

FEM lyhenne tulee englannin kielen sanoista Finite Element Method, suomenkielinen termi on elementtimenetelmä. Menetelmästä käytetään myös termiä Finite Element Analysis (FEA). Menetelmä sai alkunsa 1950-luvulla Yhdysvalloissa lentokoneeteollisuudessa, mistä se levisi käytettäväksi myös rakennustekniikassa Elementtimenetelmää hyödyntää nykyisin suurin osa laskentaohjelmistoista monilla eri tieteen aloilla (Lähtenmäki 2009.)

Menetelmä perustuu rakenteen siirtymien, muodonmuutosten ja sisäisten jännitystilojen ratkaisemiseen lujuusopin teoriasta johdetuilla yhtälöillä. Lujuusopissa käytetyillä perusdifferentiaaliyhtälöillä ratkotaan geometrisesti, kuormituksellisesti ja tuennan kannalta yksinkertaisia perustapauksia. Tästä johtuen elementtimenetelmässä kappale tai rakenne jaetaan geometrialtaan yksinkertaisiin, äärellisiin osiin, elementteihin. Elementit liittyvät toisiinsa solmupisteiden kautta muodostaen elementtiverkon. Solmupisteet välittävät siirtymät ja voimasuureet viereisiin elementteihin. Tietokone luo tästä kokonaisuudesta ratkaisun numeerisella menetelmällä muodostaen perusyhtälöt elementtien alueilta interpoloimalla. Näin ollen saatu ratkaisu sisältää pienen virheen, mikä voidaan minimoida käyttämällä kaareva reunaisia ja riittävän pienikokoisia elementtejä (Lähtenmäki 2009.)

## 5.2 Mallinnettavat ristikkopalkit

Mallinnettavien ristikkopalkkien kokoluokka ja kuormitus otettiin vertailtavasta teräs-puu-liittorakenteesta. Vertailurakenteen laskentatietoja ei haluttu julkaista sellaisenaan, vaan ne ovat jatkossa tarvittavilta osin kirjattuna tässä opinnäytetyössä. Vertailurakenteen puutavaran lujuusluokka oli C24 ja paarteissa ja vertikaaleissa oli käytetty 48x98mm:n puutavaraa. Diagonaalit olivat toteutettu teräsosin. Vertailurakenteen mitat ja kuormitus olivat seuraavat.

- yksiaukkoinen palkki
- kimmomoduuli (E): 7374,16 N/mm<sup>2</sup>
- jäyhyysmomentti (I): 158364864 mm<sup>4</sup>
- palkin pituus: 5208 mm
- palkin korkeus: 306 mm
- palkkijako (k-jako): 450 mm
- Välipohjan paino: 0,6 kN/m<sup>2</sup>
- Hyötykuorma: 2,0 kN/m<sup>2</sup>

Käyttörajan värähtely ja painuma mitoitukseen tarvittava välipohjan leveys oli 4,8m. Laskentaan vaikuttavat tiedot lattiarakenteesta.

- Aluslattialevy on kiinnitetty työmaalla liimaamalla.
- aluslattialevy: havuvaneri 18 mm
- poikkijäykisteet: 1kpl C24 41x145
- alakaton koolaus. C18 45x45 k400
- rakenteiden yhteinen taivutusjäykkyys (EI): 33847173,9 Nmm<sup>2</sup>/mm

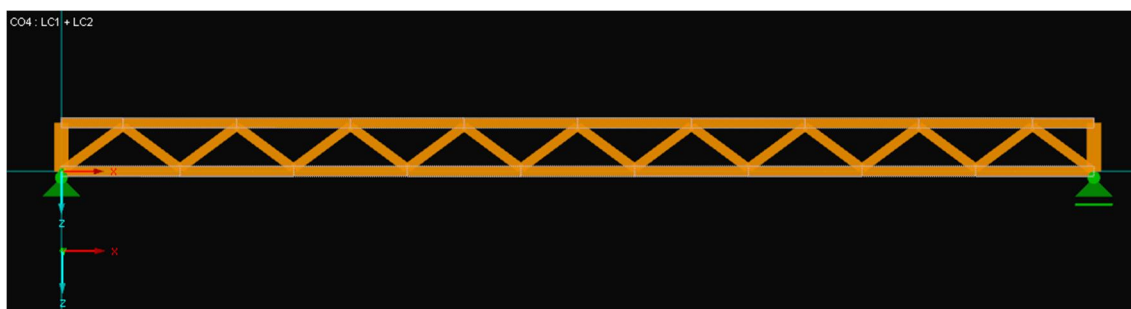
Näiden tietojen pohjalta luotiin liimaliitoksilla toteutetut puiset ristikkopalkit. Puutavarana käytettiin C24 lujuusluokan puutavara, jonka materiaaliominaisuudet esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Materiaaliaominaisuudet (Puuinfo 2011, taulukko 3.3)

Lujuusluokka		Sahatavara			Liimapuu	
		C18 (T1)	C24 (T2)	C30 (T3)	GL28c	GL32c
Ominaislujuudet (N/mm <sup>2</sup> )						
Taivutus	$f_{m,k}$	18	24	30	28	32
Veto	$f_{t,0,k}$	11	14	18	16,5	19,5
	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,45
Puristus	$f_{c,0,k}$	18	21	23	24	26,5
	$f_{c,90,k}$	2,2	2,5	2,7	2,7	3,0
Leikkaus	$f_{v,k}$	3,4	4,0	4,0	2,7	3,2
Jäykkyysominaisuudet (N/mm <sup>2</sup> )						
Kimmomoduuli	$E_{mean}$	9000	11000	12000	12600	13700
	$E_{90, mean}$	300	370	400	390	420
Liukumoduuli	$G_{mean}$	560	690	750	720	780
Tiheydet (kg/m <sup>3</sup> )						
Ominaisstiheys	$\rho_k$	320	350	380	380	410
Tiheyden keski-arvo	$\rho_{mean}$	380	420	460	430	470

### 5.2.1 Rakenne 1: Triforce

Ensimmäinen ristikkopalkki rakenne (kuva 5) luotiin kanadalaisen Openjoist Triforce ristikkopalkki järjestelmän perusteella. Jatkossa tässä työssä käsitellään tätä rakennetta Triforce nimellä.



Kuva 5. Triforce-malli RFEM-ohjelmassa

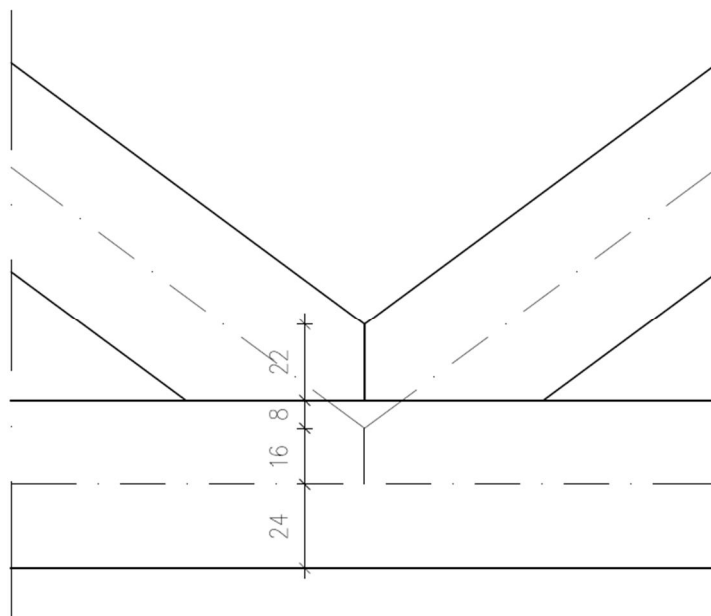
Malli luotiin Openjoist Triforce:n oman tuoteluottelon mukaisilla mitoilla, muuttaen niin puutavarakoot kuin rakenteen mitat imperiaalisesta (tuumista 1"=25,4 mm) järjestelmästä SI-järjestelmään ja suomalaisen puutavaran mittoihin. Tuoteluottelo on saatavissa Open Joist Triforce kotisivuilta (Open joist triforce, 2016). Tuoteluettelossa lähimpänä vertailurakennetta olevat rakenteet olivat OJ315 ja OJ418(S). Rakenteissa erona on ylä- ja alapaarteiden koot. OJ315:n paarteiden koko tuumina on 2x3 mikä muutettiin 48x73 mm:n puutavaraksi. OJ418(S):ssä käytetään 2x4 parretta mikä muuntui 48x98 mm:n puutavaraksi.



Uumasauvat molemmissa rakenteissa ovat 2x2 eli 48x48 mm:n puutavaraa ja päädyissä vertikaalit 2x3 eli 48x73 mm puutavaraa. Lähinnä tavoiteltua 5200 mm:n jänneväliä oli 18' (jalan, 1'=304,8mm) ristikkopalkki. Näin ensimmäisen mallin pituudeksi tuli 5486 mm. Korkeudeksi valittiin 11,875" eli noin 301 mm.

Malli luotiin suomalaisesta puutavarasta tehtynä. Pohjois-Amerikassa höyläys kuluttaa puutavaraa enemmän jolloin lopullinen mitta on 10 mm suomalaista puutavaraa pienempi. Tästä johtuen esimerkiksi diagonaalien 48x48 mm:n puutavara olisi 38x38 mm ja paarteissa käytetty 48x98 mm puutavara 38x88 mm. Näin luotu malli ei kuitenkaan täytä eurokoodin mukaista käyttörajatilamitoitusta. Pohjois-Amerikassa säädökset ovat lievemmat. Murtorajatilamitoituksessa tulokset olisivat lähellä Liimaristikko-mallin tuloksia, kuten alkuperäinen oletus oli.

Liitteessä 1 on AutoCad:llä piirretty periaatepiirros, josta selviää rakenteen ja sen liitosten mitat sekä ristikon systeemiviivojen ja solmupisteiden sijainti. Triforce RFEM-mallinnuksen suurin haaste oli liitoksen epäkeskisyyden mallintaminen kuvan 6 mukaan.



*Kuva 6. Triforce-mallin liitosepäkeskisyyss alapaarteissa.*

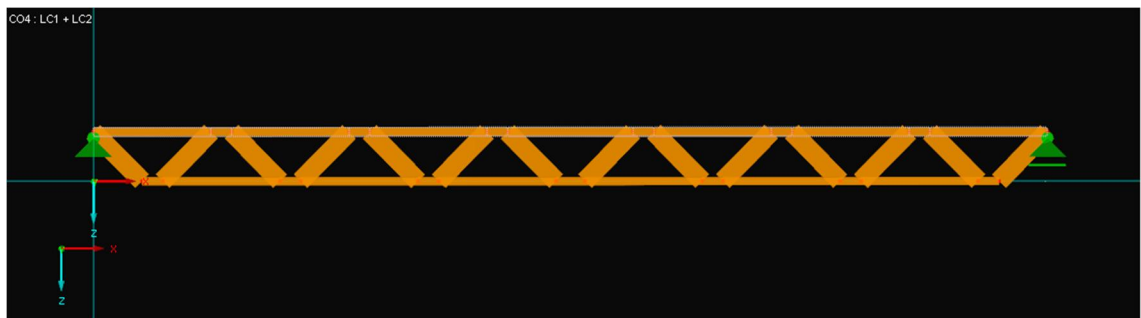
Mallissa uumasauvojen systeemiviivat yhtyvät 16 mm paarteiden systeemiviivoista. Ohjelma saatiin ymmärtämään tämä liitos määrittämällä "ylimääräinen" sauva uumasauvojen systeemiviivojen ja paarteiden

systeemiviivojen välille, määrittämällä sauva rigid-tyyppiseksi. Rigid-sauva kytkee rakenteet toisiinsa äärettömän jäykästi, mallintaen näin solmupisteiden välisen yhteyden halutulla tavalla.

Murtorajatilamitoituksen mukaan malliksi olisi voitu valita OJ315:ta jäljittelevä malli 48x73 mm:n paarrekoolla. Tässä tapauksessa mitoittava tekijä olisi ollut alapaarteen kestävyys taivutuksen ja vedon yhteisvaikutukselle eurokoodin kohdan 6.2.3 mukaan 99 %:n käyttöasteella rakenteen keskiosassa. Tällä rakenteella käyttörajatilan painuma mitoitus, eurokoodin kohta 7.3. kuitenkin ylittyi, käyttöaste 123 %. Näin ollen käyttörajatilan painumamitoituksen kautta rakenteeksi valikoitui OJ418(S):ää vastaava malli. Murtorajatilassa käyttöaste jää 73 %:iin alapaarteen taivutuksen ja vedon yhteisvaikutuksessa. Mitoittava tekijä oli edelleen käyttörajatilan painuma, jossa käyttöaste 98 %. Triforce mallin laskennan tulokset liitteessä 1

### 5.2.2 Rakenne 2: Liimaristikko

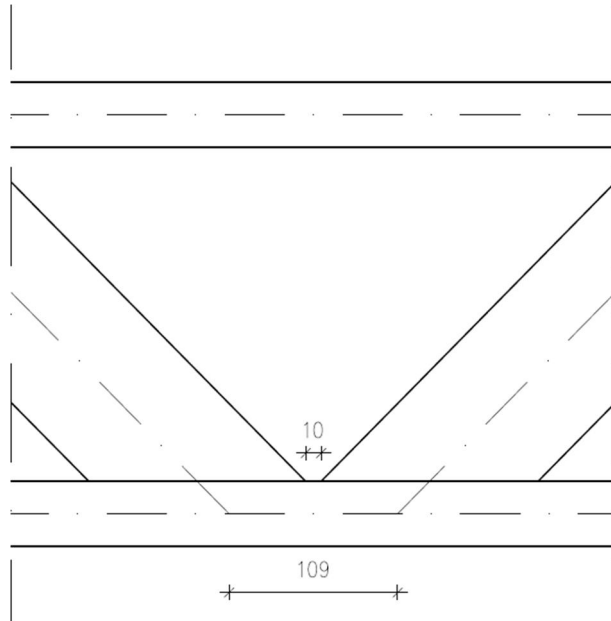
Toinen ristikkopalkki luotiin Poutasen kehittämän sormiliitoksen ja ristikkopalkkimallin pohjalta (kuva 7). Jatkossa tässä työssä käsitellään tätä rakennetta Liimaristikko nimellä.



Kuva 7. Liimaristikko-malli RFEM-ohjelmassa

Liimaristikko mallin luominen oli enemmän aikaa vievää kuin Triforce-mallin teko, koska valmista mallia kyseisellä jännevälille ei ollut. Mallin jännemitta otettiin suoraan vertailurakenteesta ja sen korkeudeksi tuli 300mm. Poutanen ohjeisti mallin luomisessa kehittämistään liitoksista ja käytetyn puutavaran kokoluokista. Liimaristikossa mitoituksellisesti isoin ero Triforce-rakenteeseen olikin uumasauvoissa käytetyn puutavaran koko. Triforcen 48x48 mm:n sijaan

käytettiin Liimaristikossa 16x100 mm:n puutavaraa. Myös epäkeskisyys uumasauvojen ja paarteiden liitoksissa olivat erilaiset kuin Triforce-mallissa. Lisäksi sen tuenta tapahtuu yläpaarteesta. Liitteessä 2 on AutoCad:llä piirretty periaatepiirros, josta selviää Liimaristikko-mallin ja sen liitosten mitat sekä ristikon systeemiviivojen ja solmupisteiden sijainti.

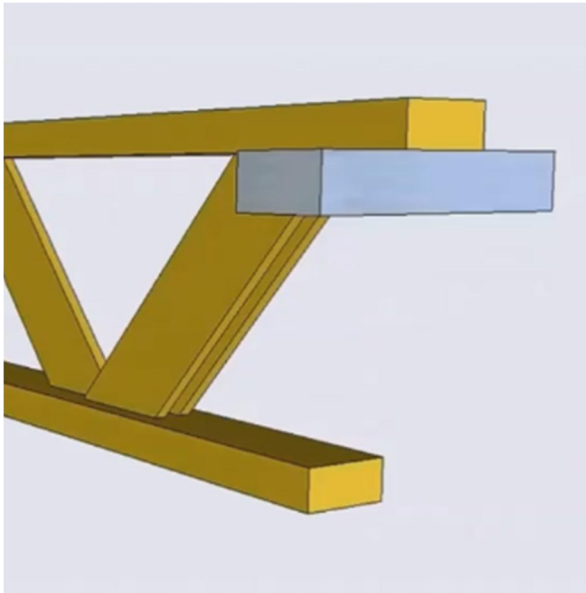


*Kuva 8. Liimaristikko-mallin epäkeskisyys.*

Uumasauvojen systeemiviivat eivät kohtaa ollenkaan, vaan yhtyvät erillään paarteiden systeemiviivoihin. Myös itse uumasauvat jäävät irti toisistaan. Tämä aiheuttaa paarteisiin momentin ja leikkausvoiman kasvua. Luotu malli oli yksinkertaistettu niin, että epäkeskisyys pysyy vakiona läpi rakenteen keskimmäistä liitosta lukuun ottamatta. Samalla testattiin kestäkö rakenne ilman diagonaalien limitystä tukien vieressä. Todellisuudessa liitosten epäkeskisyys vaihtelisi läpi rakenteen. Liitokset limitettäisiin tukien lähellä poistaen epäkeskisyys. Vastaavasti sauvojen väliä voitaisiin suurentaa rakenteen keskiosaa kohti mentäessä aina noin 100 mm:n asti. Tämä lisäisi puun käytön tehokkuutta.

Lopullisessa Liimaristikko-mallissa uumasauvojen väliin jää 10 mm ja systeemiviivat yhtyvät paarteisiin 109 mm:n päässä toisistaan. Liitos on esitetty kuvassa 8. Erilaisia rakenne vaihtoehtoja kokeillessa kyseisen kohdan paarteen leikkauskestävyys muodostuikin mitoittavaksi tekijäksi yhdessä uumasauvojen

taivutuksen ja vedon yhteisvaikutuksen kestolle. Malleja luodessa liitoksen vaikutuksiin voitiin vaikuttaa korvaamalla toinen vierekkäisistä uumasauvoista kahdella 16x100 mm:n sauvalla, jolloin sauvoja voitiin limittää pienentäen epäkeskisyyttä ja samalla uumasauva sai lisää kestävyyttä. Tilanne on esitetty kuvassa 9



*Kuva 9. 2x16x100 uumasauva (Liimaristikko.fi)*

Liimaristikko mallin lopulliseksi versioksi valikoitui kuitenkin malli, jossa tuplasauvaa tai limitystä ei laskennan mukaan tarvittu. Ylä- ja alapaarteet olivat 42x98mm puutavaraa ja uumasauvat edellä mainittua 16x100 mm:n puutavaraa. Murtorajatilassa mitoittava tekijä oli tuen viereisten uumasauvojen kestävyys taivutuksen ja vedon yhteisvaikutusta vastaan eurokoodin kohdan 6.2.3 mukaan, käyttöaste 95%. Edellä mainittu paarteen leikkauskestävyyden käyttöaste oli suurimmillaan 89%, reunimmaisten uumasauvojen ja alapaarteen liitoskohdassa. Käyttörajatilassa mitoittava tekijä oli 1kN:n pistekuorman aiheuttama painuma 95%:n käyttöasteella, mikä oli syynä myös siihen, että paarre kokona ei voitu käyttää 42x73 mm:n puutavaraa. Käyttöaste rakenteella olisi ollut 119%. Liimaristikko mallin laskennan tulokset on esitetty liitteessä 2.

## 6 Rakenteiden vertailu

Saatujen laskentatulosten ja vertailurakenteesta saadun aineiston perusteella suoritettiin vertailu rakenteiden välillä. Vertailussa oltiin erityisesti kiinnostuneita käyttörajatilamitoituksessa tarkasteltavasta välipohjan 1kN:n aiheuttamasta painumasta, mikä muodostuikin mitoittavaksi tekijäksi rakenteilla.

*Taulukko 7. Rakenteiden tilavuus, M-luku ja paino*

	Tilavuus [m <sup>3</sup> ]	Tilavuus/metri [m <sup>3</sup> /m]	M-luku [mm]	Paino [kg]	Paino/metri [kg/m]
Vertailurakenne L= 5208 mm h=306 mm	-	-	-	29,0	5,57
puu osat (48x98)	0,0539	0,0104	23,0	22,7	4,35
teräsosat	-	-	-	6,3	1,22
Triforce L= 5486 mm h=301 mm	0,0667	0,0122	27,0	28,0	5,11
paarteet (48x98)	0,0516	0,0094	20,9	21,7	3,95
diagonaalit (48x48)	0,0151	0,0028	6,1	6,4	1,16
Liimaristikko L=5208 mm h=300 mm	0,0497	0,0095	21,2	20,9	4,00
paarteet (42x98)	0,0429	0,0082	18,3	18,0	3,28
diagonaalit (16x100)	0,0068	0,0013	2,9	2,8	0,52

Taulukosta 7 käyvät ilmi rakenteiden tilavuudet, painot ja M-luku. M-luku on rakenneosan tilavuus jaettuna jännevälillä ja palkkijaolla (k-jako). Tilavuuden ja painon osalta taulukossa on esitetty myös määrät metriä kohden, koska Triforce-malli oli noin 280 mm vertailurakennetta ja Liimaristikko-mallia pidempi. Vertailurakenteen osalta laskettiin puuosat ja paino teräsosille.

Taulukosta on nähtävissä, että puutavaran kulutus metriä kohden oli suurin Triforce-mallissa ja pienin Liimaristikko-mallissa. Isoimpana tekijänä olivat diagonaalit. Yksittäinen diagonaali Liimaristikko-mallissa oli tilavuudeltaan vain

64 % Triforce-mallin diagonaaleista. Tämä näkyy myös diagonaalien käyttöasteissa murtorajatilamitoituksessa, jossa Liimaristikossa päästiin 95 % kun Triforce-mallissa käyttöaste jäi 40 %. Tästä johtuen Liimaristikko-malli oli myös kevyin vertailtavista rakenteista. Painon osalta vertailurakenne oli painavin johtuen paljolti teräsosien käytöstä rakenteessa. Lasketut puuosat pitivät vertailurakenteen osalta sisällään ylä- ja alapaarteet ja vertikaalisauvat.

*Taulukko 8. Käyttörajan vertailut*

Käyttörajatila					
	Taipuma 1 [mm]	Taipuma 2 [mm]	Painuma (lattia) [mm]	Painuma (palkki) [mm]	Taajuus [Hz]
Vertailurakenne L= 5208 mm h=306 mm	9,6	12,3	0,6	2,52	9,46
käyttöaste	74 %	71 %	100 %	-	-
Triforce L= 5486 mm h=301 mm	8,8	11,35	0,54	2,05	9,98
käyttöaste	64 %	62 %	90 %	-	-
Liimaristikko L=5208 mm h=300 mm	8,4	10,8	0,52	1,94	10,6
käyttöaste	64 %	62 %	87 %	-	-
Kuormat $g_k = 0,6kN/m^2$ , $q_k = 2,0kN/m^2$ , k-jako 450 mm					
Taipuma 1 = hetkellinen taipuma					
Taipuma 2 = lopputaipuma					
Painumat ovat 1kN pistekuorman aiheuttamia paipumia					

Taulukosta 8 on esitetty käyttörajatilamitoituksen tuloksia rakenteittain. Kaikki rakenteet täyttävät 9Hz alimman ominaistaajuuden vaatimuksen. Erot tulivat painumien ja taipumien välillä. Vertailurakenteen arvot saatiin kyseisen rakenteen aineistosta. Vertailurakenteen painumarajat oli laskettu yhden desimaalin tarkkuudella ja samoja rajoja käytettiin myös vertailuaineiston käyttöasteen määrittämisessä. Luotujen mallien osalta tarkemmat laskenta tulokset löytyvät liitteistä 1 ja 2. Triforcen ja Liimaristikon painumat laskettiin Exel-ohjelmalla ja taipumat RFEM-ohjelman avulla. Laskenta suoritettiin samanlaiselle lattiarakenteelle kuin vertailuaineistossa eli tulleet erot selittyvät eroissa rakenteiden kimmomoduuleissa (E) ja jäyhyysmomenteissa (I). Triforce mallin noin 200 mm pidempi jännemitta vaikutti myös tuloksiin. Huomioitavaa tässä

kuitenkin se, että siitä huolimatta niin taipumat kuin painumatkin jäivät pienemmiksi kuin vertailurakenteella.

Tuloksista on havaittavissa, että niin Triforce kuin Liimaristikkokin antaa parempia tuloksia kuin vertailurakenne. Täysin puiset ristikkopalkit ovat kevyempiä ja niiden käyttörajoitamismitoituksessa saamat arvot hiukan parempia. Triforce-mallin puunkäyttö on kuitenkin diagonaalien osalta puuta tuhlaavaa käyttöasteen jäädessä hyvin alhaiseksi murtorajoitamismitoituksessa. Välipohjassa käytettävällä ristikkopalkilla haetaan etua esimerkiksi läpivientien helpottumiseen. Tältä osin vertailurakenne mahdollisti läpimitaltaan suurimman putkituksen läpiviennin, tarjoten mahdollisuuden 210 mm:n läpivienteihin. Liimaristikko-malli mahdollistaa 180 mm:n putken käytön, Triforcen jäädessä 160 mm.

Liimaristikon etuna muihin nähden on sen muunneltavuus. Diagonaalien kestävyyttä voidaan parantaa asentamalla useampi 16x100 mm:n sauva rinnakkain. Näin saadaan tarpeen mukaan myös säädeltyä paarteisiin vaikuttavaa momenttia ja leikkausvoimaa mahdollistamalla diagonaalien limitys. Tällä hetkellä Liimaristikon liitostyyppi ja rakenne ovat uusia, niitä ei ole standardisoitu ja ne eivät ole markkinoilla. Tämä voitaneen laskea sen heikkoudeksi.

## 7 Pohdinta

Työn tulokset mahdollistivat rakenteiden vertailun erityisesti käyttörajoitilassa, mikä rakenteilla muodostuikin mitoittavaksi tekijäksi. Rakenteiden optimoinnin kannalta olisi ollut hienoa jos myös sormiliitokset olisi saatu mallinnettua ja analysoitua tarkemmin. Nyt tehtiin yksinkertaistuksia luomalla vain sauvamallit ja liitokset jäykillä solmupisteillä. Toki rakenteiden poikkileikkauksien vaikutuksien tutkiminen RFEM-ohjelmalla onnistui helposti. Tulosten pohjalta voi kuitenkin todeta, että Liimaristikko-mallin tapainen rakenne on teknisiltä ominaisuuksiltaan kilpailukykyinen vastaavaan tarkoitukseen tehtyjen jo markkinoilla olevien

tuotteiden kanssa. Merkittäväksi tekijäksi rakenteen menestymisen kannalta nouseekin varmasti valmistuskustannukset. Valmistuskustannukset ja liitoksen tarkempi mallintaminen olisikin varmasti hyviä jatkotutkimuksen aiheita.

Opinnäytetyön teossa oli alku vaiheessa muutamia haasteita. Liitostyyppi on uusi ja siitä ei juuri ole kirjallista materiaalia. Suurin osa liitokseen liittyvästä tiedosta ja yksityiskohdista tulikin toimeksiantajalta työn teoria- ja mallinnusosaa varten. Toinen haaste oli RFEM-ohjelman käyttö. Ohjelma oli uusi ja sen käyttö oli alussa kankeaa. Voisikin todeta, että päivän mittainen koulutus antoi vain pohjan ohjelman käytölle ja Toomas Kaljaksen sähköpostitse antamat ohjeet mahdollistivat työn loppuun saattamisen.

Työn kirjallisen osan alkuun on koottu tietoa niin liimatusta sormiliitoksesta kuin ristikkorakenteiden teoriasta. Myös eurokoodia kuormitusten ja puurakenteiden mitoituksen osalta tuotiin esille. Sormiliitoksen yleiskatsaus avasi hyvin rakenteen mahdollisuuksia vertailua varten ja ristikkoteoriaan tutustuminen antoi eväitä rakenne mallinen luontiin ja muokkaamiseen. Eurokoodin läpikäynti taas oli miltei välttämätön RFEM-ohjelman tuloksien tulkinnan kannalta. RFEM-ohjelman käyttö myös antoi valmiuksia FEM-mallintamiseen. Edellä mainitun tiedon läpikäynti ja hyödyntäminen, erityisesti tarkempi tutustumien FEM mallinukseen hyödyttää varmasti työelämää siirryttäessä.



## Lähteet

- Carling, O. 2003. Liimapuukäsikirja. Wood Focus Puuinfo. Pdf-tiedosto. 10.3.2016
- Lähteenmäki M. 2009. FES01: Elementtimenetelmän perusteet. VirtuaaliAMK – DIGMA.  
<http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/material/attachments/vanhaa/mk/digma/5h5F5G0jJ/FES01.pdf>
- Open Joist Triforce. 2014. Specifier Guide. Pdf tiedosto.  
<http://www.openjoisttriforce.com/download-spec-guide/>. 14.3.2016
- Poutanen, T. 2009. Liimattu puun sormiliitos. Pdf tiedosto.  
<http://www.liimaristikko.fi/kuvat/liimattu-puun-sormiliitos.pdf>. 3.3.2016
- Poutanen, T. 2015. Joint: Challenge of timber engineering. Pdf tiedosto. 28.3.2016
- Puuinfo. 2011. Puurakenteiden suunnittelu Lyhennetty suunnitteluohje. Pdf-tiedosto. <http://www.puuinfo.fi/eurokoodit/eurokoodi-5-lyhennetty-ohje-puurakenteiden-suunnittelu>. 15.3.2016
- Puuinfo. 2016. Puutieto. Puuinfo Oy. [www.puuinfo.fi/puutieto](http://www.puuinfo.fi/puutieto). 3.3.2016
- Puuproffa. 2012. Liimaus. Pro Puu ry  
[www.puuproffa.fi/PuuProffa\\_2012/fi/liimaus](http://www.puuproffa.fi/PuuProffa_2012/fi/liimaus). 2.3.2016
- Rakennustieto. 1996. STEP 1 Puurakenteet. Helsinki: Rakennustieto
- Salmi, T. 1998. Statiikka. Tampere: Pressus
- SFS-EN 1995-1-1+A1+A2+AC. 2014. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto
- SFS-EN 335. 2013. Helsinki: Suomenstandardisoimisliitto
- Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL. 2008. RIL 201-1-2008 suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
- Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL. 2009. RIL 205-1-2009 Puurakenteiden suunnittelu ohje. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Rakennustekniikan koulutusohjelma

RAKENNE 1: TRIFORCE

Mallit ja laskentatulokset  
Huhtikuu 2016

OJ418(S) L=18'0" h=11.875"

Ylä- ja alaparrat: 48x98

Vertikaalit: 48x73

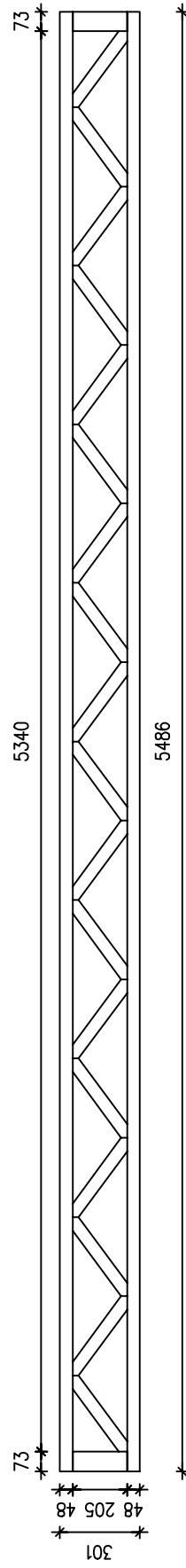
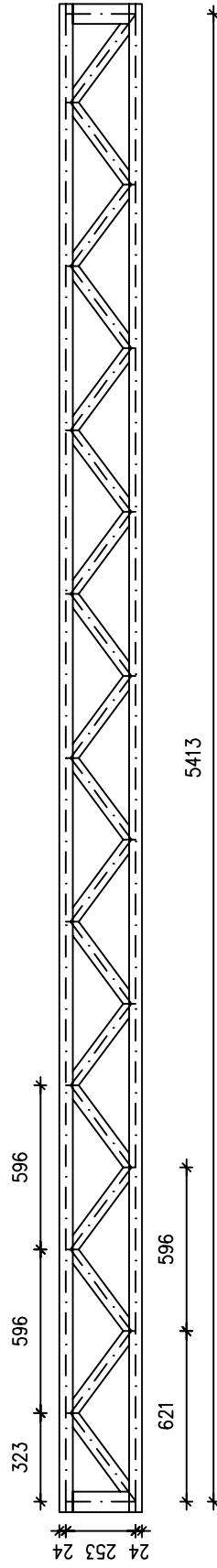
diagonaalit: 48x48

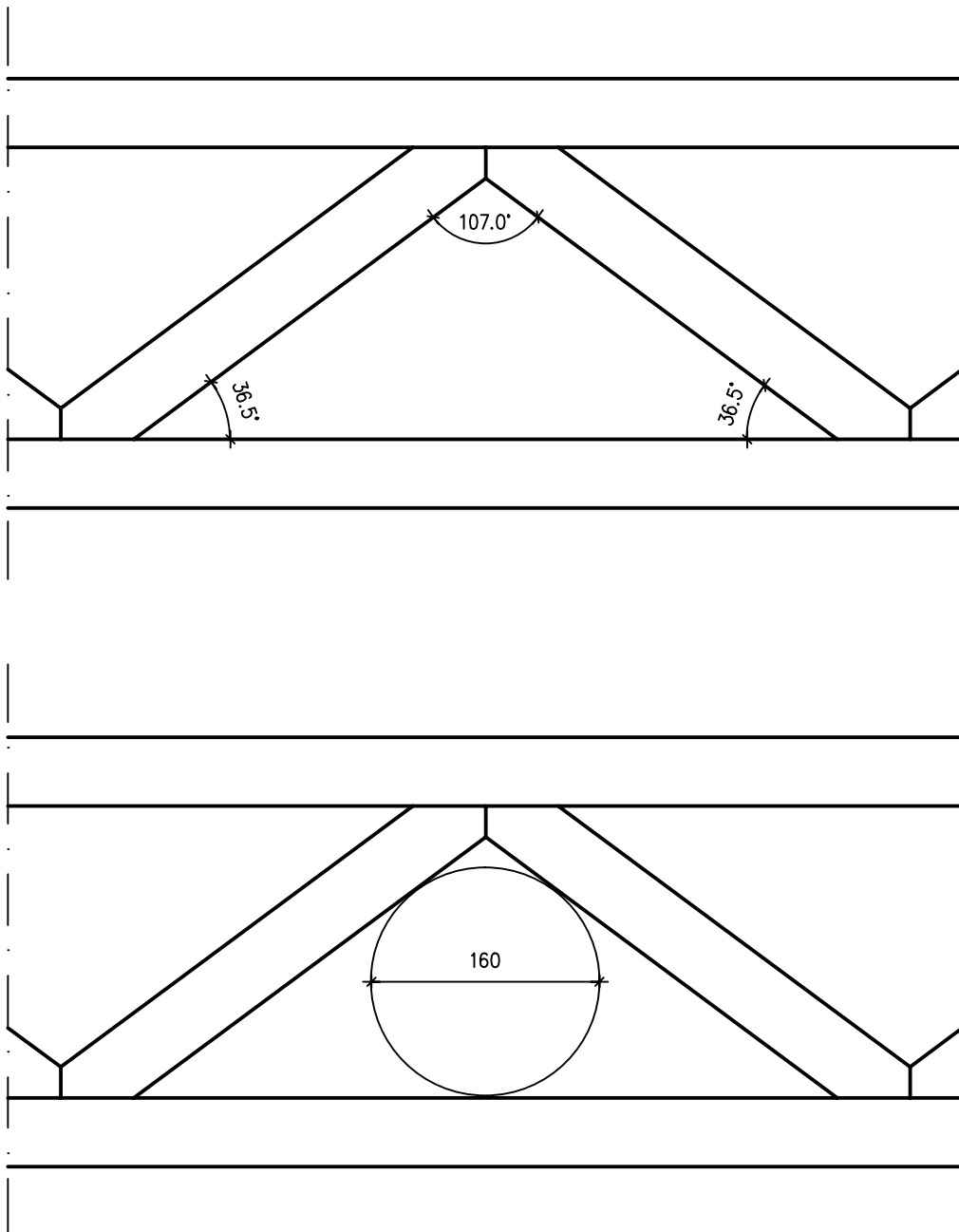
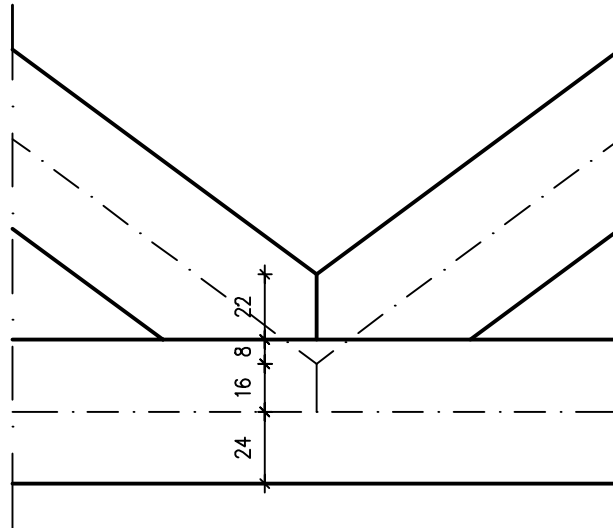
Kuormat: g: 0,6kN/m<sup>2</sup>

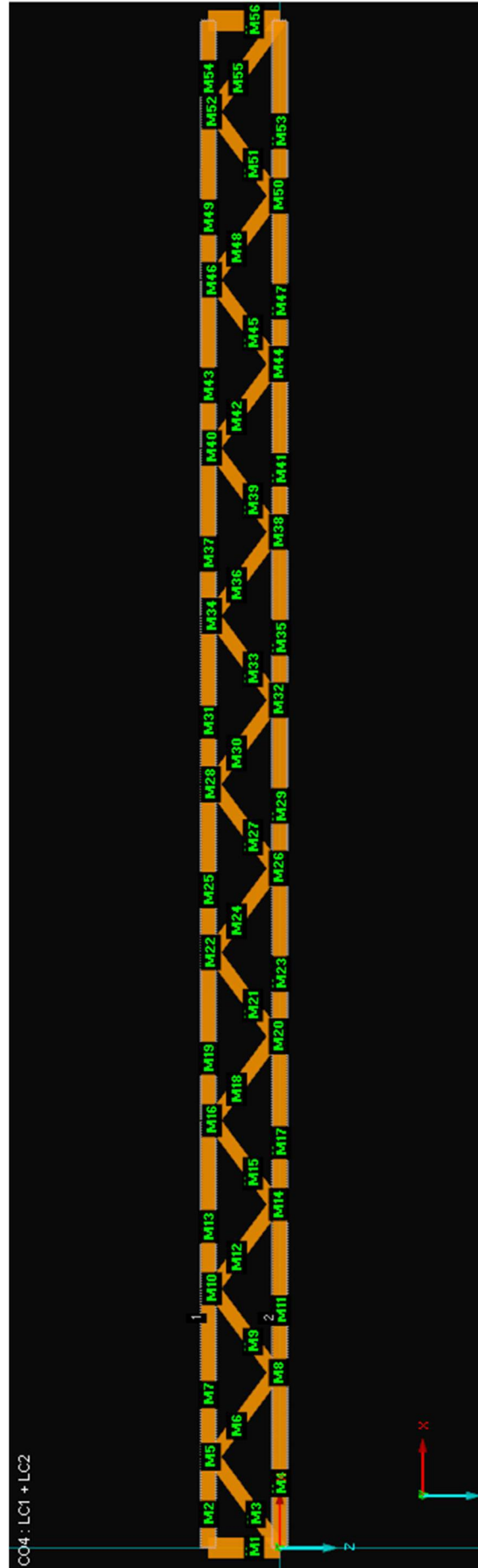
q: 2,0kN/m<sup>2</sup>

Palkki jako: k450

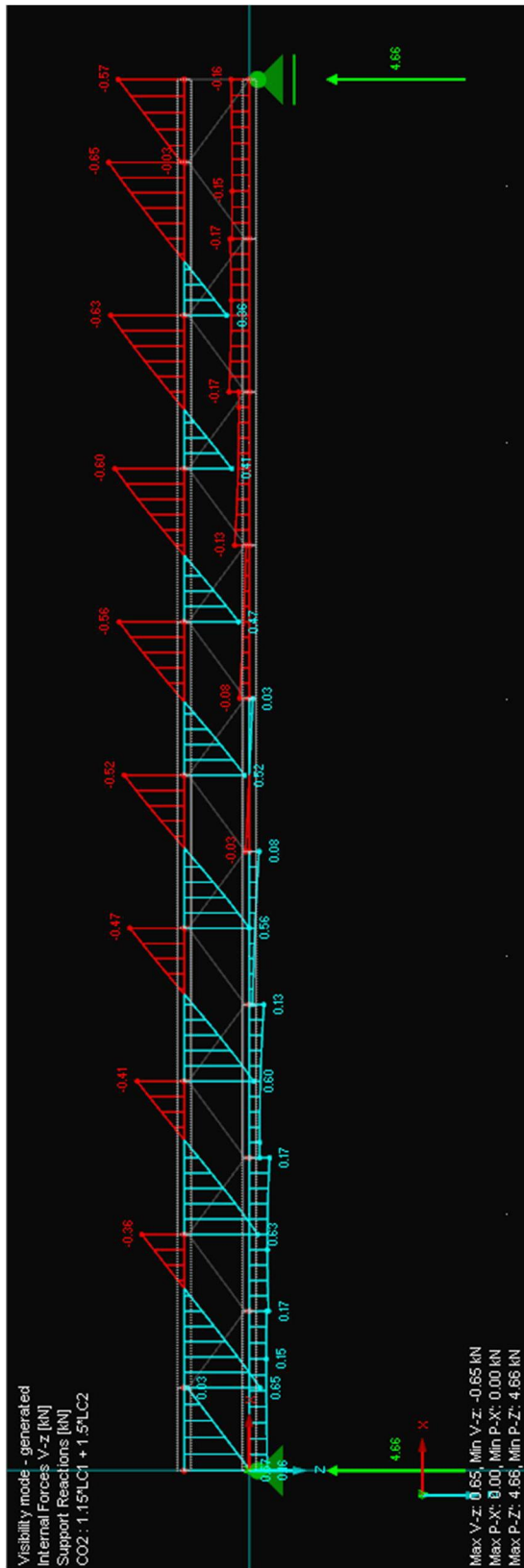
Paino (420kg/m<sup>3</sup>)=28,0kg



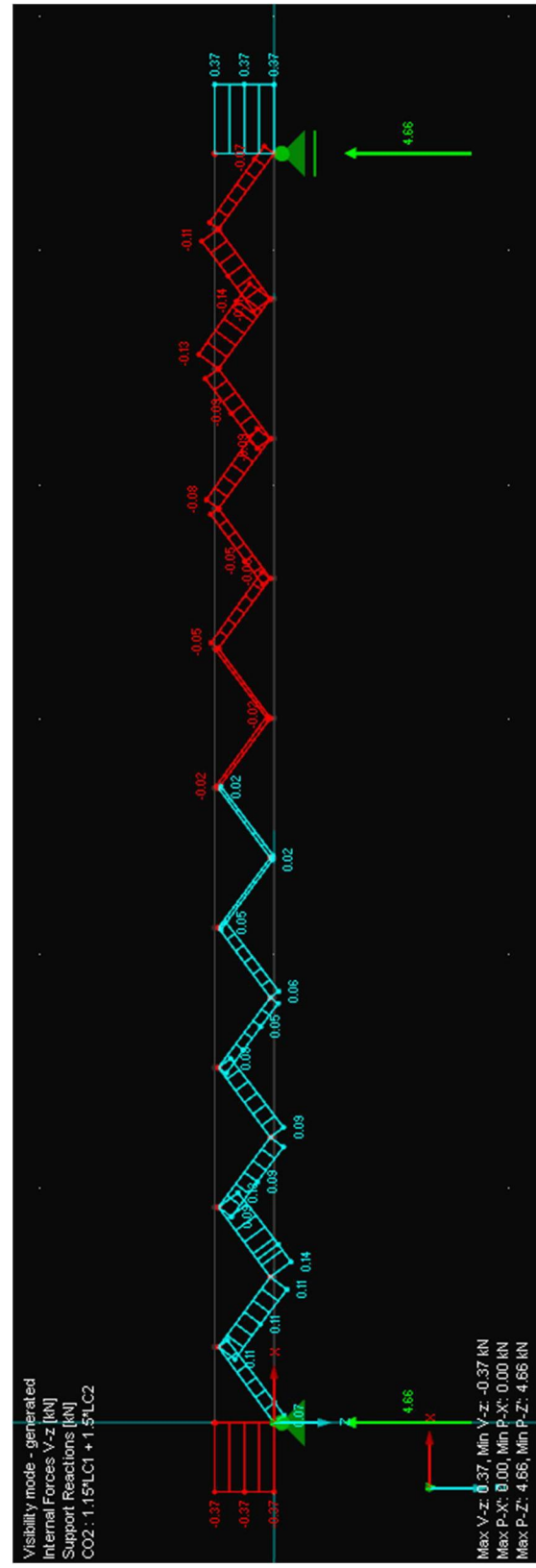




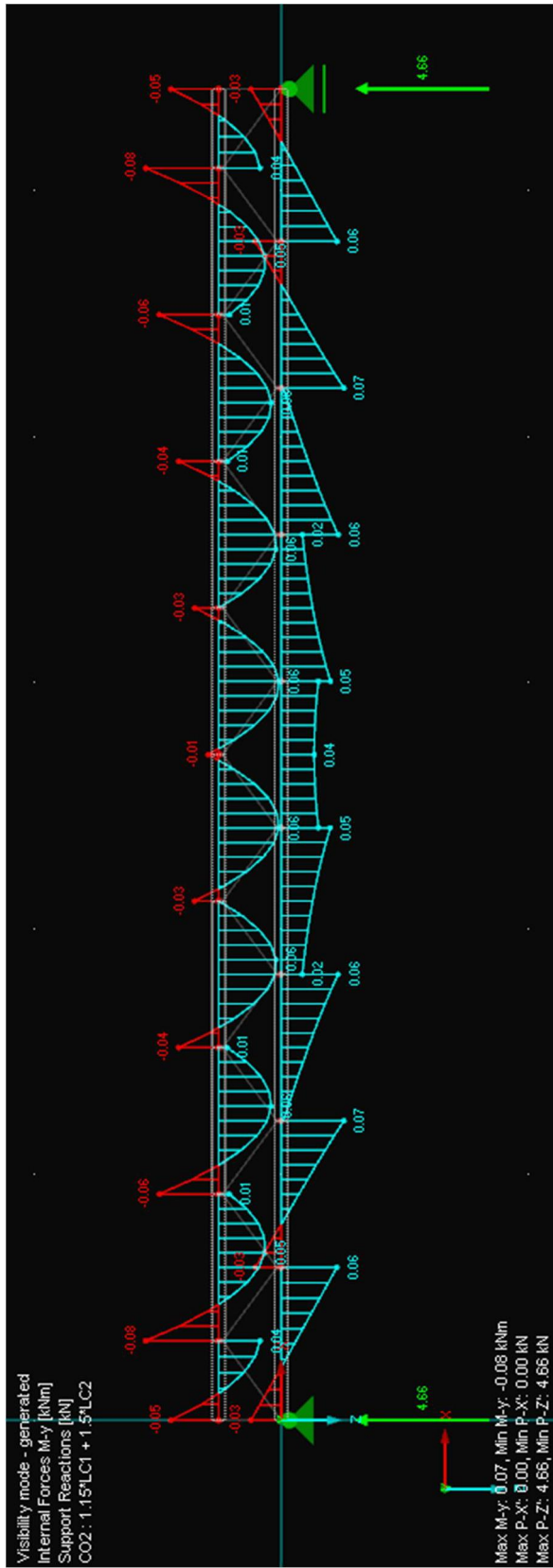
Kuva 1 Sauva numerointi



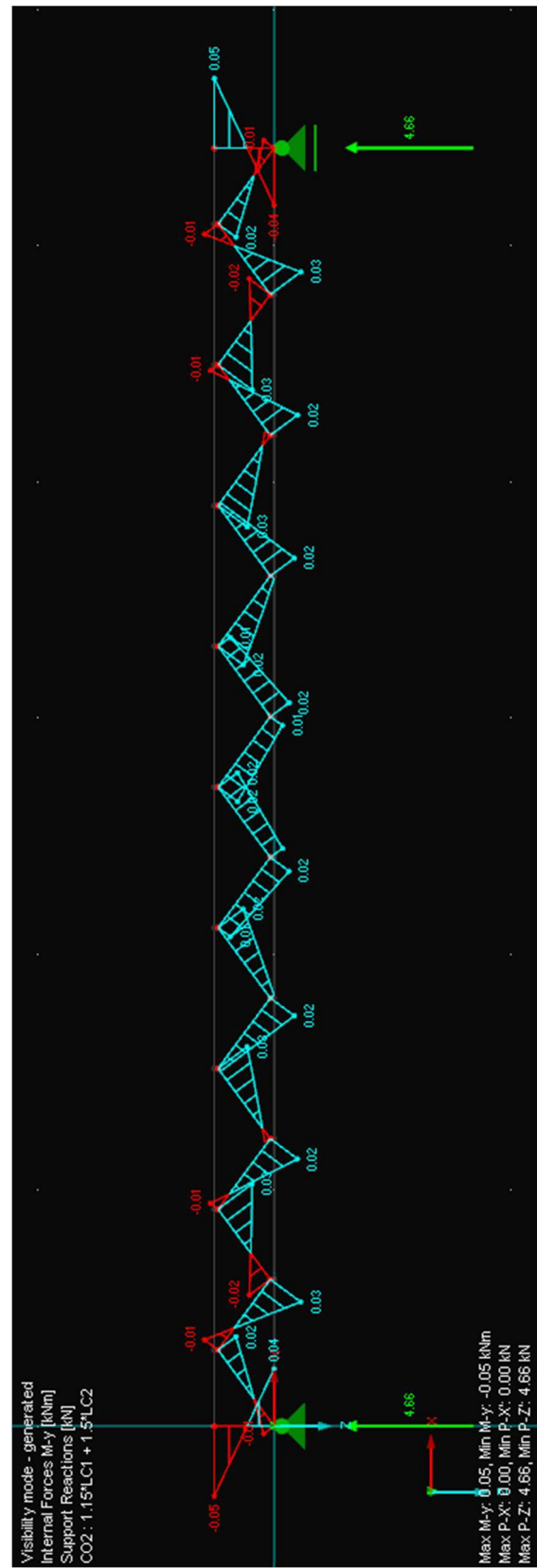
Kuva 2 Leikkausvoima paarteissa



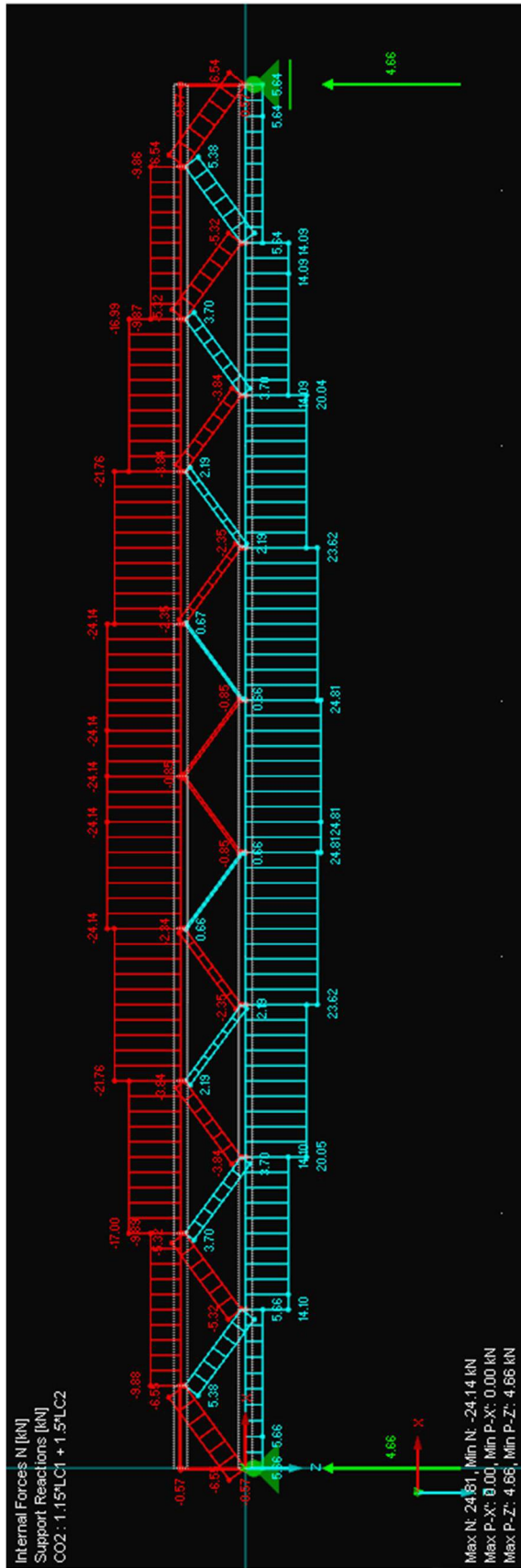
Kuva 3 Leikkausvoima uumasauvoissa



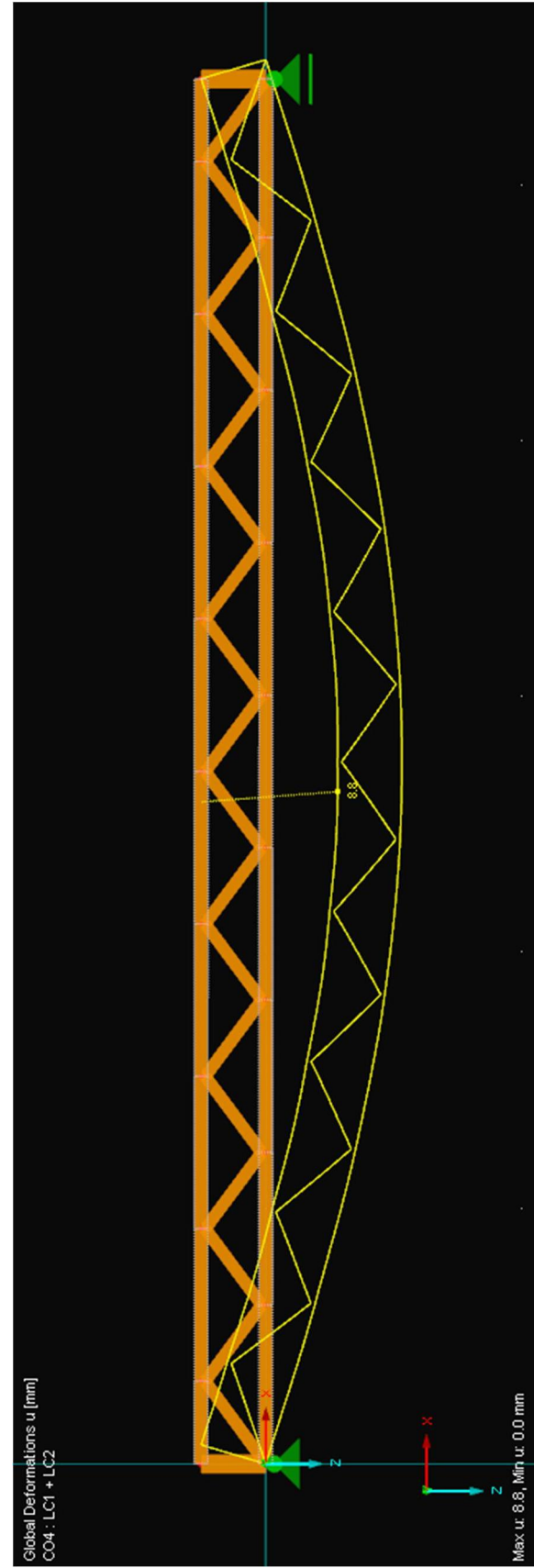
Kuva 4 Momentti paarteissa



Kuva 5 Momentti uumasauvoissa

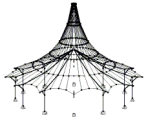


Kuva 6 Normaalivoima



Kuva 7 Hetkellinen taipuma





RF-TIMBER Pro  
CA1

Project: Model: Triforce 18'(5,4m)

Date: 14.4.2016

### 1.1.1 GENERAL DATA

Members to design:	All	
Design according to Standard:	SFS EN 1995-1-1/NA:2007-11	
Ultimate Limit State Design		
Load cases to design:	LC1	Lattiarakenne(0,6kN/m <sup>2</sup> , k450)
	LC2	Hyötykuorma(2,0kN/m <sup>2</sup> , k450)
Load combinations to design:	CO1	1.35*LC1
	CO2	1.15*LC1 + 1.5*LC2
	CO3	LC1
	CO4	LC1 + LC2
Result combinations to design:	RC1	ULS (STR/GEO) - Permanent / transient - Eq. 6.10a and 6.10b
	RC2	SLS - Characteristic / Rare

### 1.2 MATERIALS

Matl. No.	Description	Factor Category	Comment
3	Poplar and Softwood Timber C24	Solid Timber	

### 1.3.1 CROSS-SECTIONS

Sect. No.	Matl. No.	Cross-section Description	Comment
1	3	T-Rectangle 98/48	
2	3	T-Rectangle 48/48	
3	3	T-Rectangle 48/73	
4	3	T-Rectangle 48/48	

T-Rectangle 48/73 T-Rectangle 48/48



### 1.4 LOAD DURATION AND SERVICE CLASS

LC/CO/RC	LC, CO or RC Description	Load Case Type	Classification of Load Duration
LC1	Lattiarakenne(0,6kN/m <sup>2</sup> , k450)	Permanent	Permanent
LC2	Hyötykuorma(2,0kN/m <sup>2</sup> , k450)	Imposed - Category A: domestic, residential areas	Medium-term
CO1	1.35*LC1	-	Permanent
CO2	1.15*LC1 + 1.5*LC2	-	Medium-term
CO3	LC1	-	Permanent
CO4	LC1 + LC2	-	Medium-term
Service Class SECL Service Class 1: Identical for All Members/Sets of Members			

### 2.4 DESIGN BY MEMBER

Member No.	Location x [m]	LC/CO/RC	Design	Acc. to Formula	
1	<b>Cross-section No. 3 - T-Rectangle 48/73</b>				
	0.000	CO2	0.01 ≤ 1	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4
	0.126	CO2	0.10 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.253	CO2	0.09 ≤ 1	171)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4
	0.126	CO1	0.00 ≤ 1	303)	Compression member with axial compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
	0.253	CO2	0.10 ≤ 1	323)	Member with bending and compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
2	<b>Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/48</b>				
	0.323	CO2	0.01 ≤ 1	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4
	0.000	CO2	0.12 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.000	LC1	0.02 ≤ 1	151)	Cross-section resistance - Uniaxial bending acc. to 6.1.6
	0.000	CO2	0.10 ≤ 1	171)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4
	0.000	CO2	0.11 ≤ 1	323)	Member with bending and compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
3	<b>Cross-section No. 2 - T-Rectangle 48/48</b>				
	0.000	CO2	0.24 ≤ 1	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4
	0.067	CO2	0.03 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7



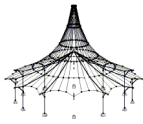
Project:

Model: Triforce 18'(5,4m)

Date: 14.4.2016

## 2.4 DESIGN BY MEMBER

Member No.	Location x [m]	LC/CO/RC	Design	Acc. to Formula	
	0.401	CO2	0.12 ≤ 1	171)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4
	0.134	CO4	0.03 ≤ 1	303)	Compression member with axial compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
	0.401	CO2	0.12 ≤ 1	323)	Member with bending and compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
4	<b>Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/48</b>				
	0.124	CO2	0.15 ≤ 1	101)	Cross-section resistance - Tension along the grain acc. to 6.1.2
	0.000	CO2	0.03 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.621	CO2	0.27 ≤ 1	161)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and tension acc. to 6.2.3
6	<b>Cross-section No. 2 - T-Rectangle 48/48</b>				
	0.000	CO2	0.29 ≤ 1	101)	Cross-section resistance - Tension along the grain acc. to 6.1.2
	0.371	CO2	0.05 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.371	CO2	0.40 ≤ 1	161)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and tension acc. to 6.2.3
7	<b>Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/48</b>				
	0.596	CO2	0.18 ≤ 1	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4
	0.000	CO2	0.14 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.000	CO2	0.18 ≤ 1	171)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4
	0.000	CO2	0.36 ≤ 1	323)	Member with bending and compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
9	<b>Cross-section No. 2 - T-Rectangle 48/48</b>				
	0.000	CO2	0.19 ≤ 1	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4
	0.124	CO2	0.06 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.371	CO2	0.16 ≤ 1	171)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4
	0.124	CO3	0.00 ≤ 1	303)	Compression member with axial compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
11	<b>Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/48</b>				
	0.060	CO2	0.37 ≤ 1	101)	Cross-section resistance - Tension along the grain acc. to 6.1.2
	0.596	CO2	0.04 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.596	CO2	0.51 ≤ 1	161)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and tension acc. to 6.2.3
12	<b>Cross-section No. 2 - T-Rectangle 48/48</b>				
	0.000	CO2	0.20 ≤ 1	101)	Cross-section resistance - Tension along the grain acc. to 6.1.2
	0.371	CO2	0.04 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.371	CO2	0.30 ≤ 1	161)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and tension acc. to 6.2.3
13	<b>Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/48</b>				
	0.596	CO2	0.30 ≤ 1	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4
	0.000	CO2	0.13 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.000	CO2	0.21 ≤ 1	171)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4
	0.119	CO2	0.35 ≤ 1	303)	Compression member with axial compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
15	<b>Cross-section No. 2 - T-Rectangle 48/48</b>				
	0.000	CO2	0.14 ≤ 1	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4
	0.000	CO2	0.04 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.371	CO2	0.12 ≤ 1	171)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4
	0.062	CO4	0.01 ≤ 1	303)	Compression member with axial compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
17	<b>Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/48</b>				
	0.000	CO2	0.53 ≤ 1	101)	Cross-section resistance - Tension along the grain acc. to 6.1.2
	0.596	CO2	0.03 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.596	CO2	0.65 ≤ 1	161)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and tension acc. to 6.2.3
18	<b>Cross-section No. 2 - T-Rectangle 48/48</b>				
	0.000	CO2	0.12 ≤ 1	101)	Cross-section resistance - Tension along the grain acc. to 6.1.2
	0.000	CO2	0.02 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7



Project: Model: Triforce 18'(5,4m)

Date: 14.4.2016

## 2.4 DESIGN BY MEMBER

Member No.	Location x [m]	LC/CO/RC	Design	Acc. to Formula	
19	0.371	CO2	0.21 ≤ 1	161)	6.1.7 Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and tension acc. to 6.2.3
	<b>Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/48</b>				
	0.596	CO2	0.39 ≤ 1	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4
	0.000	CO2	0.12 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.358	CO2	0.27 ≤ 1	171)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4
	0.596	CO2	0.45 ≤ 1	303)	Compression member with axial compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
21	0.358	CO2	0.57 ≤ 1	323)	Member with bending and compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
	<b>Cross-section No. 2 - T-Rectangle 48/48</b>				
	0.000	CO2	0.08 ≤ 1	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4
	0.000	CO2	0.02 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.371	CO2	0.10 ≤ 1	171)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4
23	0.371	CO2	0.10 ≤ 1	323)	Member with bending and compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
	<b>Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/48</b>				
	0.000	CO2	0.63 ≤ 1	101)	Cross-section resistance - Tension along the grain acc. to 6.1.2
	0.596	CO2	0.02 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
24	0.596	CO2	0.73 ≤ 1	161)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and tension acc. to 6.2.3
	<b>Cross-section No. 2 - T-Rectangle 48/48</b>				
	0.000	CO2	0.04 ≤ 1	101)	Cross-section resistance - Tension along the grain acc. to 6.1.2
	0.000	CO2	0.01 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
25	0.371	CO2	0.10 ≤ 1	161)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and tension acc. to 6.2.3
	<b>Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/48</b>				
	0.417	CO2	0.43 ≤ 1	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4
	0.000	CO2	0.12 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.298	CO2	0.31 ≤ 1	171)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4
27	0.596	CO3	0.12 ≤ 1	303)	Compression member with axial compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
	0.298	CO2	0.62 ≤ 1	323)	Member with bending and compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
	<b>Cross-section No. 2 - T-Rectangle 48/48</b>				
	0.000	CO2	0.03 ≤ 1	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4
	0.000	CO2	0.01 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
29	0.371	CO2	0.07 ≤ 1	171)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4
	0.371	CO2	0.07 ≤ 1	323)	Member with bending and compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
	<b>Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/48</b>				
	0.119	CO2	0.66 ≤ 1	101)	Cross-section resistance - Tension along the grain acc. to 6.1.2
30	0.000	CO2	0.01 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.000	CO2	0.74 ≤ 1	161)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and tension acc. to 6.2.3
	<b>Cross-section No. 2 - T-Rectangle 48/48</b>				
	0.371	CO2	0.03 ≤ 1	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4
31	0.371	CO2	0.01 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.000	CO2	0.07 ≤ 1	171)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4
	0.000	CO2	0.07 ≤ 1	323)	Member with bending and compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
	<b>Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/48</b>				
	0.179	CO2	0.43 ≤ 1	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4
33	0.596	CO2	0.12 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.298	CO2	0.31 ≤ 1	171)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4
	0.000	CO3	0.12 ≤ 1	303)	Compression member with axial compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
	0.298	CO2	0.62 ≤ 1	323)	Member with bending and compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes



Project:

Model: Triforce 18'(5,4m)

Date: 14.4.2016

## 2.4 DESIGN BY MEMBER

Member No.	Location x [m]	LC/CO/RC	Design	Acc. to Formula	
	0.371	CO2	0.04 $\leq 1$	101)	Cross-section resistance - Tension along the grain acc. to 6.1.2
	0.371	CO2	0.01 $\leq 1$	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.000	CO2	0.10 $\leq 1$	161)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and tension acc. to 6.2.3
35	<b>Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/48</b>				
	0.596	CO2	0.63 $\leq 1$	101)	Cross-section resistance - Tension along the grain acc. to 6.1.2
	0.000	CO2	0.02 $\leq 1$	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.000	CO2	0.73 $\leq 1$	161)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and tension acc. to 6.2.3
36	<b>Cross-section No. 2 - T-Rectangle 48/48</b>				
	0.371	CO2	0.08 $\leq 1$	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4
	0.371	CO2	0.02 $\leq 1$	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.000	CO2	0.10 $\leq 1$	171)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4
	0.000	CO2	0.10 $\leq 1$	323)	Member with bending and compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
37	<b>Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/48</b>				
	0.000	CO2	0.39 $\leq 1$	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4
	0.596	CO2	0.12 $\leq 1$	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.238	CO2	0.27 $\leq 1$	171)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4
	0.000	CO2	0.45 $\leq 1$	303)	Compression member with axial compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
	0.238	CO2	0.57 $\leq 1$	323)	Member with bending and compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
39	<b>Cross-section No. 2 - T-Rectangle 48/48</b>				
	0.371	CO2	0.12 $\leq 1$	101)	Cross-section resistance - Tension along the grain acc. to 6.1.2
	0.371	CO2	0.02 $\leq 1$	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.000	CO2	0.21 $\leq 1$	161)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and tension acc. to 6.2.3
41	<b>Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/48</b>				
	0.596	CO2	0.53 $\leq 1$	101)	Cross-section resistance - Tension along the grain acc. to 6.1.2
	0.000	CO2	0.03 $\leq 1$	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.000	CO2	0.65 $\leq 1$	161)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and tension acc. to 6.2.3
42	<b>Cross-section No. 2 - T-Rectangle 48/48</b>				
	0.371	CO2	0.14 $\leq 1$	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4
	0.371	CO2	0.04 $\leq 1$	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.000	CO2	0.12 $\leq 1$	171)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4
	0.309	CO2	0.02 $\leq 1$	303)	Compression member with axial compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
	0.000	CO2	0.12 $\leq 1$	323)	Member with bending and compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
43	<b>Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/48</b>				
	0.000	CO2	0.30 $\leq 1$	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4
	0.596	CO2	0.13 $\leq 1$	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.596	CO2	0.21 $\leq 1$	171)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4
	0.477	CO2	0.35 $\leq 1$	303)	Compression member with axial compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
	0.596	CO2	0.47 $\leq 1$	323)	Member with bending and compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
45	<b>Cross-section No. 2 - T-Rectangle 48/48</b>				
	0.371	CO2	0.20 $\leq 1$	101)	Cross-section resistance - Tension along the grain acc. to 6.1.2
	0.000	CO2	0.04 $\leq 1$	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.000	CO2	0.30 $\leq 1$	161)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and tension acc. to 6.2.3
47	<b>Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/48</b>				
	0.477	CO2	0.37 $\leq 1$	101)	Cross-section resistance - Tension along the grain acc. to 6.1.2
	0.000	CO2	0.04 $\leq 1$	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.000	CO2	0.51 $\leq 1$	161)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and tension acc. to 6.2.3
48	<b>Cross-section No. 2 - T-Rectangle 48/48</b>				
	0.371	CO2	0.19 $\leq 1$	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4
	0.247	CO2	0.06 $\leq 1$	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7

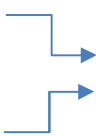


Project: Model: Triforce 18'(5,4m)

Date: 14.4.2016

## 2.4 DESIGN BY MEMBER

Member No.	Location x [m]	LC/CO/RC	Design		Acc. to Formula	
49	0.000	CO2	0.16	≤ 1	171)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4
	0.247	CO3	0.00	≤ 1	303)	Compression member with axial compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
	0.000	CO2	0.16	≤ 1	323)	Member with bending and compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
	Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/48					
	0.000	CO2	0.17	≤ 1	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4
	0.596	CO2	0.14	≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.596	CO2	0.18	≤ 1	171)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4
	0.596	CO2	0.35	≤ 1	323)	Member with bending and compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
	Cross-section No. 2 - T-Rectangle 48/48					
	0.371	CO2	0.29	≤ 1	101)	Cross-section resistance - Tension along the grain acc. to 6.1.2
51	0.000	CO2	0.05	≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.000	CO2	0.40	≤ 1	161)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and tension acc. to 6.2.3
	Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/48					
	0.496	CO2	0.15	≤ 1	101)	Cross-section resistance - Tension along the grain acc. to 6.1.2
	0.620	CO2	0.03	≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.000	CO2	0.27	≤ 1	161)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and tension acc. to 6.2.3
	Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/48					
	0.000	CO2	0.01	≤ 1	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4
	0.322	CO2	0.12	≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.322	LC1	0.02	≤ 1	151)	Cross-section resistance - Uniaxial bending acc. to 6.1.6
53	0.322	CO2	0.10	≤ 1	171)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4
	0.322	CO2	0.11	≤ 1	323)	Member with bending and compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
	Cross-section No. 2 - T-Rectangle 48/48					
	0.400	CO2	0.24	≤ 1	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4
	0.333	CO2	0.03	≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.000	CO2	0.12	≤ 1	171)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4
	0.267	CO4	0.03	≤ 1	303)	Compression member with axial compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
	0.000	CO2	0.12	≤ 1	323)	Member with bending and compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
	Cross-section No. 3 - T-Rectangle 48/73					
	0.000	CO2	0.01	≤ 1	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4
54	0.126	CO2	0.10	≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.253	CO2	0.09	≤ 1	171)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4
	0.126	CO1	0.00	≤ 1	303)	Compression member with axial compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
	0.253	CO2	0.10	≤ 1	323)	Member with bending and compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
	0.253	CO2	0.02	≤ 1	341)	Flexural member with compression force acc. to 6.3.3 - Bending about y-axis

Painuma 1kN kuormasta				
$\delta \leq 0,5 \text{ mm}$	Välipohjan painuma			
$\delta$ lasketaan valitsemalla pienemmän arvon seuraavista antava kaava				
$\delta = \frac{Fl^2}{42 k_{\delta} (EI)_l}$	=	0,543		$0,543 \leq k \cdot 0,5mm$
$\delta = \frac{Fl^3}{48 s (EI)_l}$	=	1,708		
OK				
$k_{\delta}$	lasketaan kaavasta, ehtona		$k_{\delta} \leq b/l$	=
			<div><math>b</math></div>	$0,875$
				$4800 \text{ mm}$
				OK
$k_{\delta} = \sqrt[4]{\frac{(EI)_b}{(EI)_l}}$	=	0,295		
missä				
$F$	1000	pistekuorma [N]		
$l$	5486	jänneväli [mm]		
$s$	450	palkki jako [mm]		
$(EI)_l$	4,476E+09	taivutusjäykkyys leveysyksikköä kohden l-suunnassa [Nmm <sup>2</sup> /mm]		
$E_p$	11000	taivustuskimmomoduuli palkin suunnassa [N/mm <sup>2</sup> ]		
$I_p$	152355504	jäyhyysmomentti palkin suunnassa [mm <sup>4</sup> ]		
$(EI)_b$	3,385E+07	taivutusjäykkyys leveysyksikköä kohden b-suunnassa [Nmm <sup>2</sup> /mm]		

Palkin painuma 1kN:n pistekuormasta			
$\delta_L = \frac{Fl^3}{48EI}$	=	2,05	mm

Huoneen koosta riippuva taipumarajoituksen korotuskerroin k		
$k = \frac{1}{0,318 + 0,114l} \geq 1$	=	1,1
Välipohjan sallittu taipuma korotuskertoimella		
$k \cdot 0,5mm$	=	<input type="text" value="0,55"/> mm

Ristikön jäyhyysmomentti		
$I_p = \frac{a(H^3 - h^3)}{12}$	=	152355504 mm <sup>4</sup>
<input type="text" value="a"/>	98	paarteen leveys [mm]
<input type="text" value="H"/>	301	ristikkopalkin korkeus [mm]
<input type="text" value="h"/>	205	paarteiden väliin jäävän aukon korkeus [mm]
Palkin taivutusjäykkyys		
$(EI)_{palkki} = \frac{E_p I_p}{s}$	=	3,724E+09 Nmm <sup>2</sup> /mm
Liimatun T-poikkileikkauksen taivutusjäykkyys (palkin suunnassa)		
$(EI)_T = \frac{(2,2 - 0,1l)(0,4 + s)(EI)_p}{s}$	=	5,228E+09 Nmm <sup>2</sup> /mm
Taivutusjäykkyys kohti suoraan palkkin suuntaa vastaan (aluslattialevy+poikkijäykisteet+alakaton koolaus)		
$(EI)_b = \text{vertailulaskelmat}$	=	3,385E+07 Nmm <sup>2</sup> /mm

Lattian värähtely mitoitus				
Yhteensuuntaan kantavan lattian alin ominaistaaajuus				
$f_1 = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}} = 9,98 \text{ Hz} > 9 \text{ Hz} \quad \text{OK}$				
missä				
$l$	5,486	jänneväli [m]		
$(EI)_l$	4,476E+06	taivutusjäykkyys leveysyksikköä kohden l-suunnassa [Nm <sup>2</sup> /m]		
$m$	122,324	omapaino+0,3xhyötykuorma [kg/m <sup>2</sup> ]		
$E_p$	11000	taivustuskimmomoduuli palkin suunnassa [N/mm <sup>2</sup> ]		
$I_p$	152355504	jäyhyysmomentti palkin suunnassa [mm <sup>4</sup> ]		
$s$	0,45	palkki jako [m]		

Ristikon jäyhyysmomentti		
$I_p = \frac{a(H^3 - h^3)}{12}$	=	152355504 mm4
a	98	paarteen leveys [mm]
H	301	ristikkopalkin korkeus [mm]
h	205	paarteiden väliin jäävän aukon korkeus [mm]
Palkin taivutusjäykkyys		
$(EI)_{palkki} = \frac{E_p I_p}{s}$	=	3,724E+06 Nm2/m
Liimatun T-poikkileikkauksen taivutusjäykkyys (palkin suunnassa)		
$(EI)_T = (2,2 - 0,1l)(0,4 + s)(EI)_p$	=	5227686,381 Nm2/m

Laskenta kuorma				
$m = \frac{(g_k + 0,3 \cdot q_k)}{9,81} 1000 = 122,3 \text{ kg/m}^2$				
$g_k$	0,6	rakenteen omapaino [kN/m <sup>2</sup> ]		
$q_k$	2	hyötykuorma [kN/m <sup>2</sup> ]		



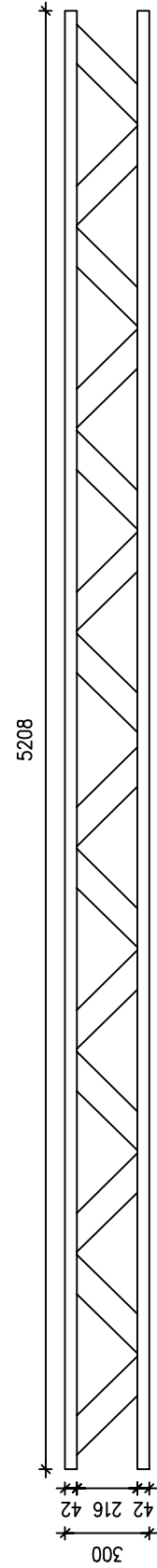
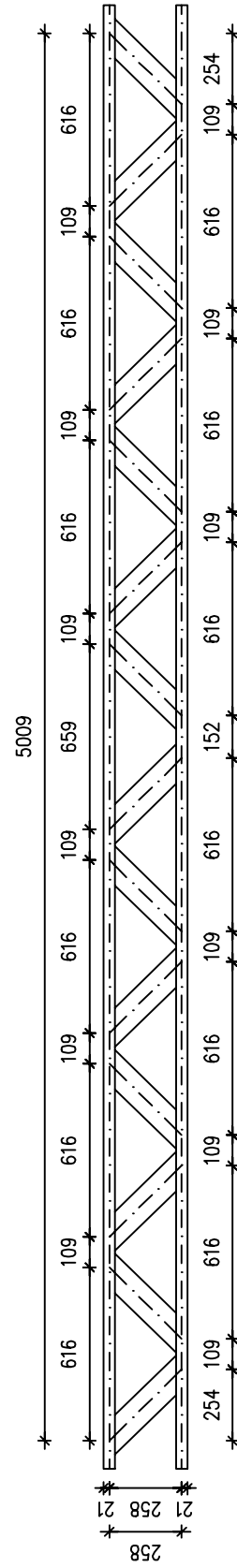
Hetkellinen taipuma				
$w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q}$	=	8,8	mm	OK
Taipumaraja L/400 =	13,7	mm		
Omanpainon ja hyötykuorman aiheuttamat taipumat RFEM-ohjelmasta				
$w_{inst,G}$	=	2,3	mm	
$w_{inst,Q}$	=	6,5	mm	
Lopputaipuma				
$w_{fin} = (1 + k_{def}) \cdot w_{inst,G} + (1 + 0,3 + k_{def}) \cdot w_{inst,Q}$	=	11,35	mm	OK
Käyttöluokassa 1 sahatavaralle	$k_{def} = 0,6$			
Taipumaraja L/300 =	18,3	mm		

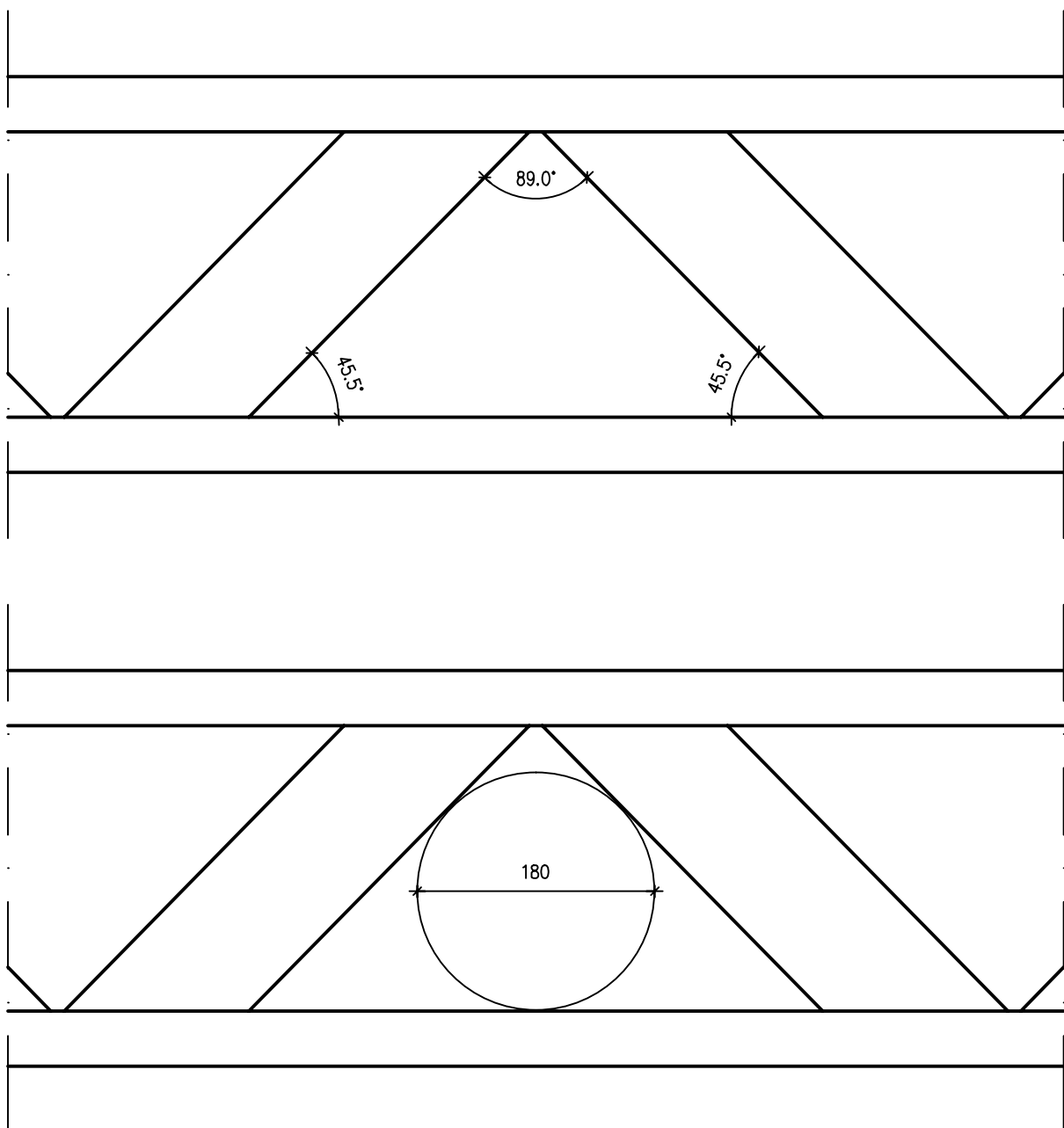
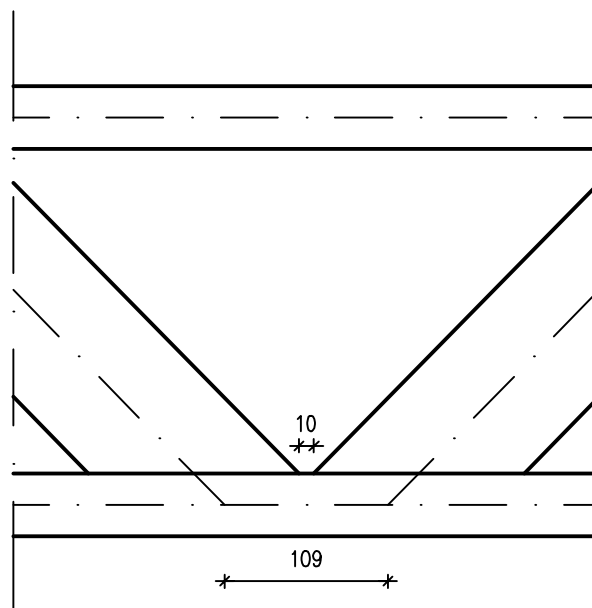
KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Rakennustekniikan koulutusohjelma

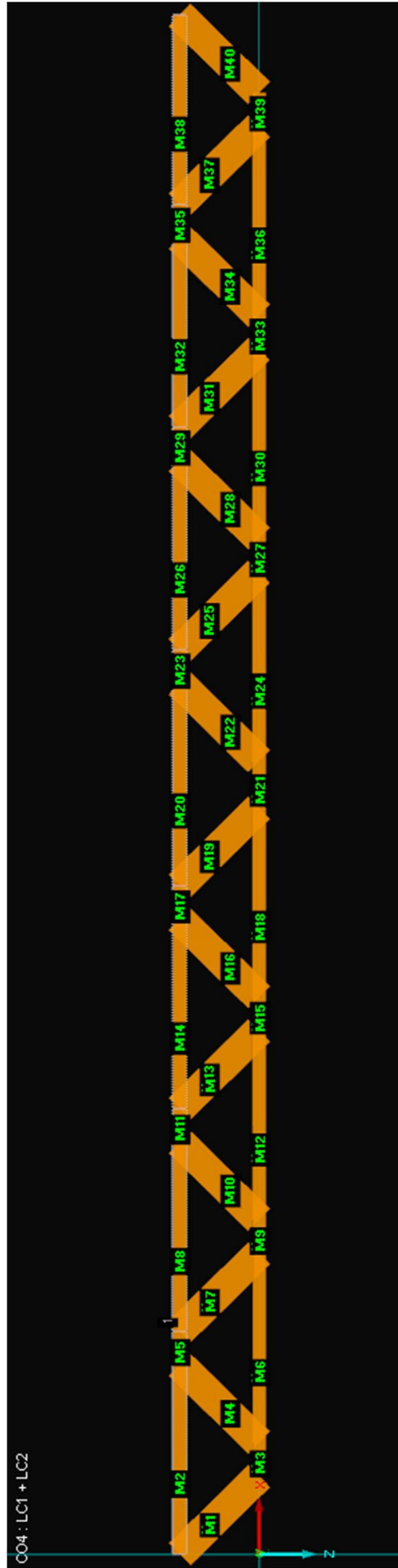
RAKENNE 2: LIIMARISTIKKO

Mallit ja laskentatulokset  
Huhtikuu 2016

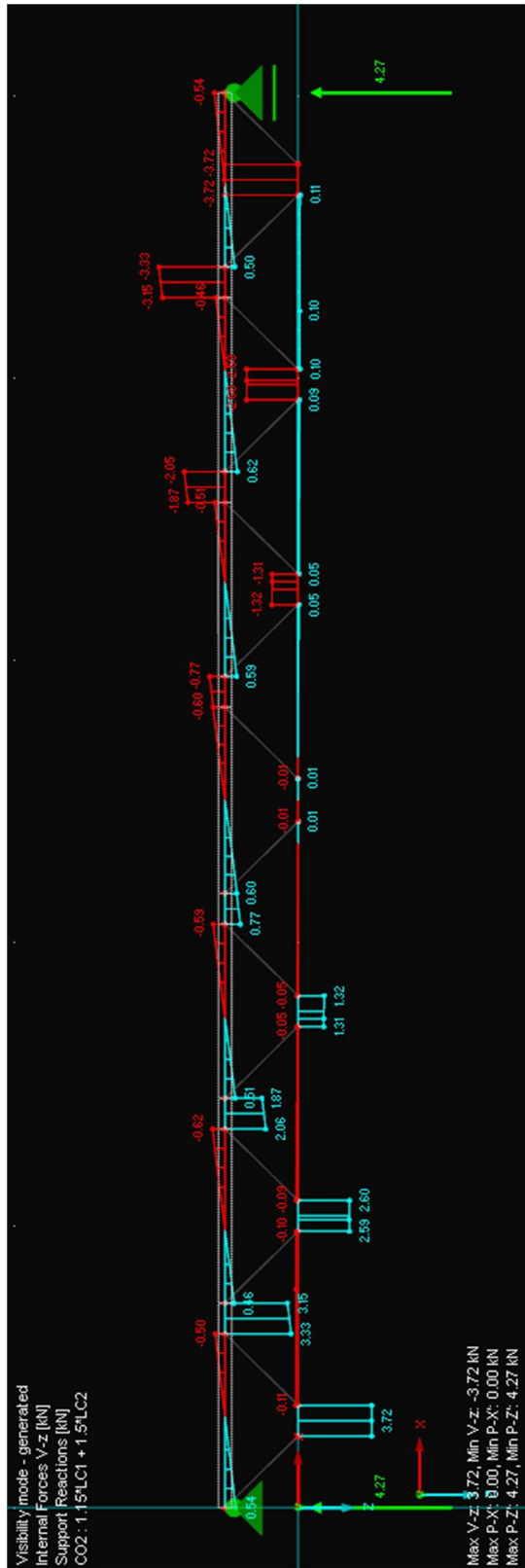
Ylä- ja alapäärre: 42x98  
Vertikaalit: –  
diagonaalit: 16x100,  
Kuormat: g: 0,6kN/m<sup>2</sup>  
q: 2,0kN/m<sup>2</sup>  
Palkki jako: k450  
Paino: (420kg/m<sup>3</sup>) 20,9kg



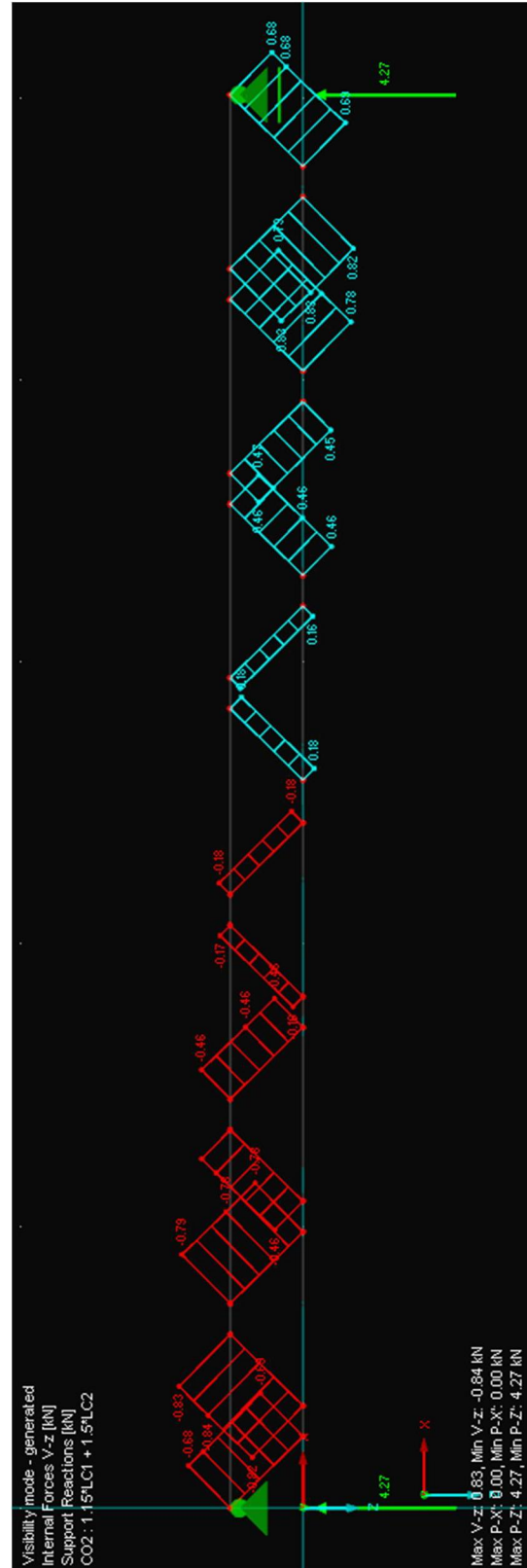




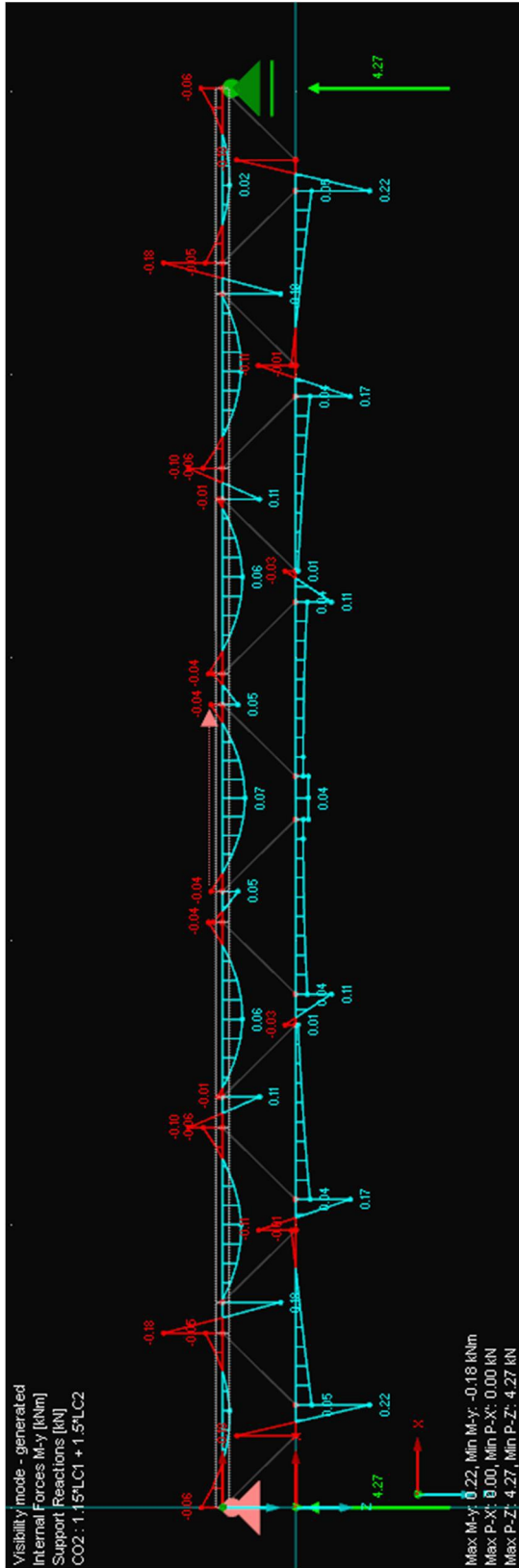
Kuva 1 Sauva numerointi



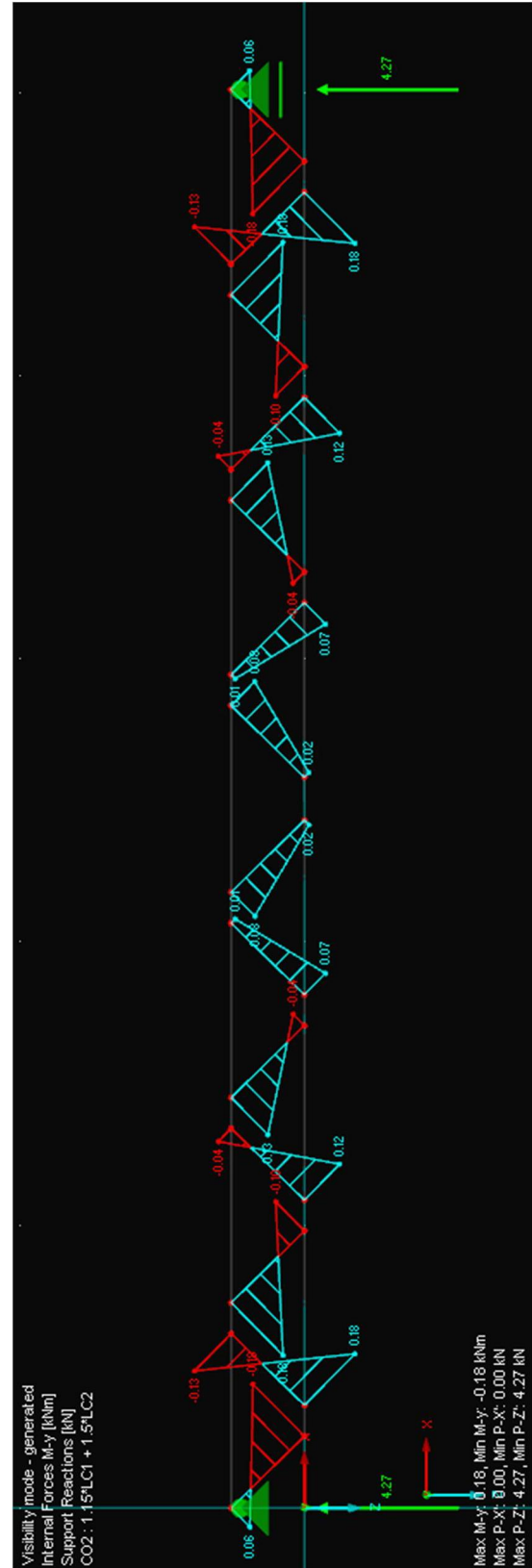
Kuva 2 Leikkausvoima paarteissa



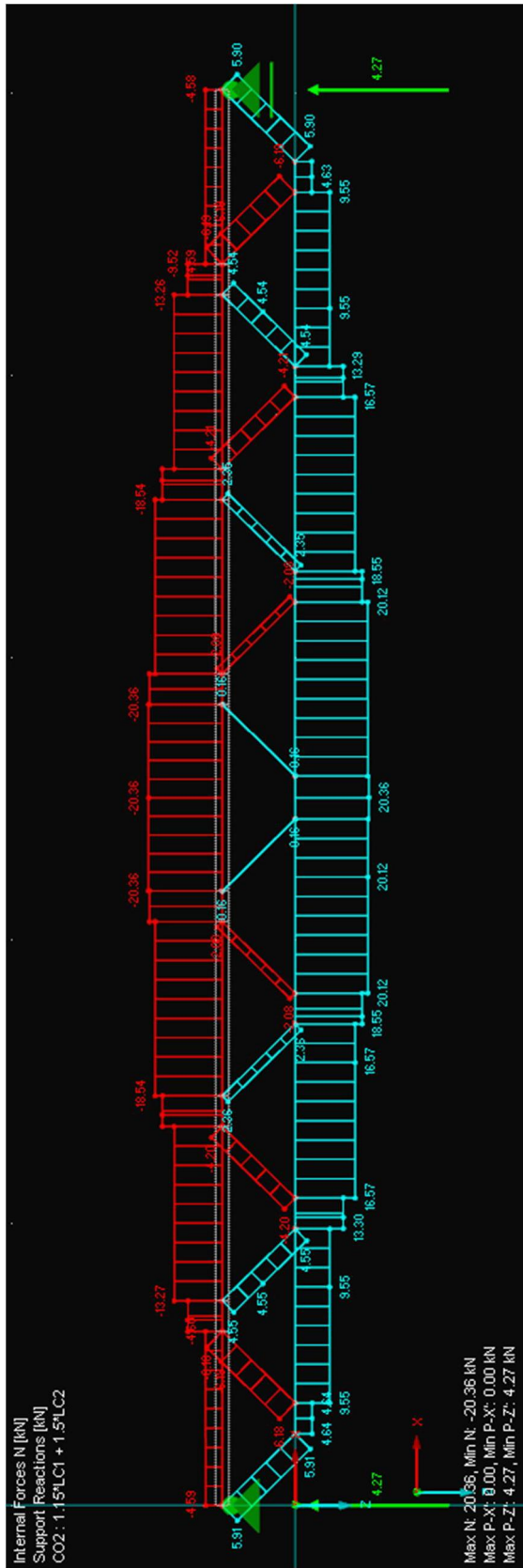
Kuva 3 Leikkausvoima uumasauvoissa



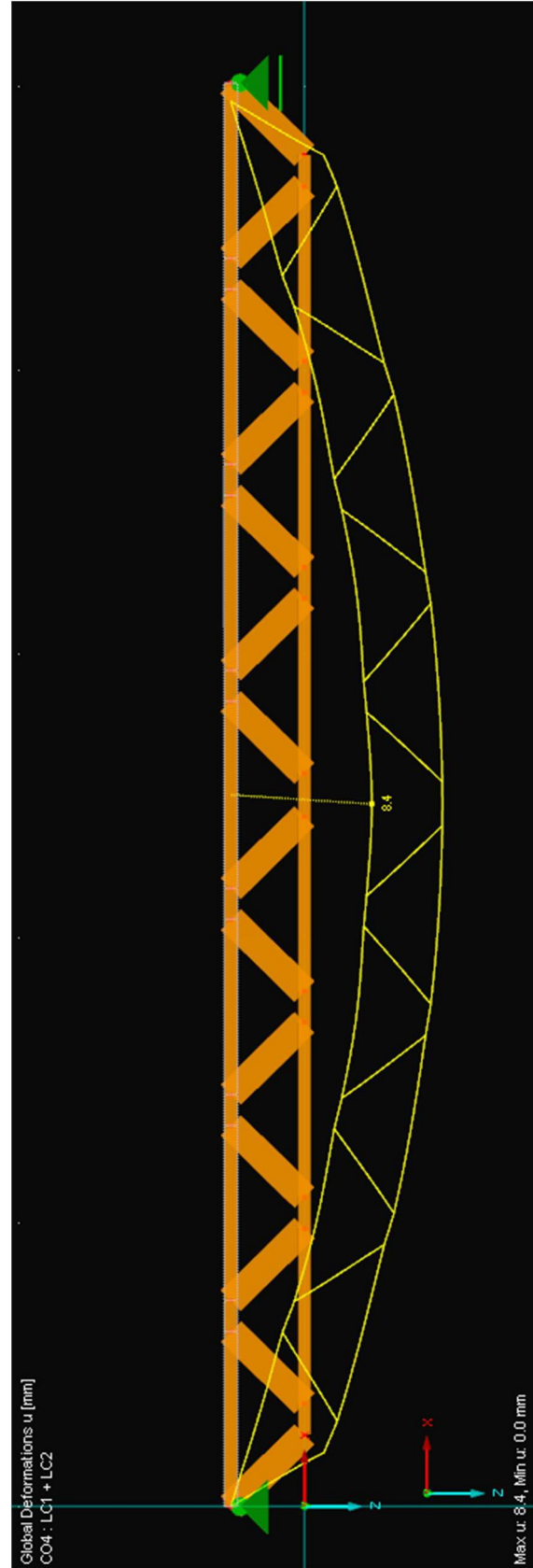
Kuva 4 Momentti paarteissa



Kuva 5 Momentti uumasauvoissa



Kuva 6 Normaaliavoima



Kuva 7 Hetkellinen taipuma





RF-TIMBER Pro  
CA1

Project: Model: Poutanen(5,2.42x98.ei\_siirtoa)

Date: 14.4.2016

## 1.1.1 GENERAL DATA

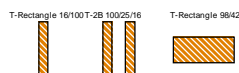
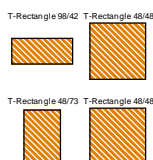
Members to design:	All
Design according to Standard:	SFS EN 1995-1-1/NA:2007-11
Ultimate Limit State Design	
Load cases to design:	LC1 Lattiarakenne(0,6kN/m <sup>2</sup> , k450) LC2 Hyötykuorma(2,0kN/m <sup>2</sup> , k450)
Load combinations to design:	CO1 1.35*LC1 CO2 1.15*LC1 + 1.5*LC2 CO3 LC1 CO4 LC1 + LC2
Result combinations to design:	RC1 ULS (STR/GEO) - Permanent / transient - Eq. 6.10a and 6.10b RC2 SLS - Characteristic / Rare

## 1.2 MATERIALS

Matl. No.	Description	Factor Category	Comment
3	Poplar and Softwood Timber C24	Solid Timber	

## 1.3.1 CROSS-SECTIONS

Sect. No.	Matl. No.	Cross-section Description	Comment
1	3	T-Rectangle 98/42	
2	3	T-Rectangle 48/48	
3	3	T-Rectangle 48/73	
4	3	T-Rectangle 48/48	
5	3	T-Rectangle 16/100	
6	3	T-2B 100/25/16	
7	3	T-Rectangle 98/42	



## 1.4 LOAD DURATION AND SERVICE CLASS

LC/CO/RC	LC, CO or RC Description	Load Case Type	Classification of Load Duration
LC1	Lattiarakenne(0,6kN/m <sup>2</sup> , k450)	Permanent	Permanent
LC2	Hyötykuorma(2,0kN/m <sup>2</sup> , k450)	Imposed - Category A: domestic, residential areas	Medium-term
CO1	1.35*LC1	-	Permanent
CO2	1.15*LC1 + 1.5*LC2	-	Medium-term
CO3	LC1	-	Permanent
CO4	LC1 + LC2	-	Medium-term

Service Class SECL  
Service Class 1: Identical for All Members/Sets of Members

## 2.4 DESIGN BY MEMBER

Member No.	Location x [m]	LC/CO/RC	Design	Acc. to Formula	
1	Cross-section No. 5 - T-Rectangle 16/100				
	0.000	CO2	0.46 ≤ 1	101)	Cross-section resistance - Tension along the grain acc. to 6.1.2
	0.362	CO2	0.42 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.362	CO2	0.95 ≤ 1	161)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and tension acc. to 6.2.3
2	0.362	CO2	0.50 ≤ 1	311)	Flexural member without compression force acc. to 6.3.3 - Bending about y-axis
	Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/42				
	0.616	CO2	0.09 ≤ 1	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4
	0.000	CO2	0.13 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.000	CO2	0.17 ≤ 1	171)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4
3	0.479	CO1	0.04 ≤ 1	303)	Compression member with axial compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
	0.000	CO2	0.28 ≤ 1	323)	Member with bending and compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
	Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/42				
	0.054	CO2	0.14 ≤ 1	101)	Cross-section resistance - Tension along the grain acc. to 6.1.2
	0.109	CO2	0.89 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.109	CO2	0.71 ≤ 1	161)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and t



Project:

Model: Poutanen(5,2.42x98.ei\_siirtoa)

Date: 14.4.2016

## 2.4 DESIGN BY MEMBER

Member No.	Location x [m]	LC/CO/RC	Design	Acc. to Formula	
					tension acc. to 6.2.3
4	<b>Cross-section No. 5 - T-Rectangle 16/100</b>				
	0.000	CO2	0.32 ≤ 1	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4
	0.217	CO2	0.51 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.000	CO2	0.59 ≤ 1	171)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4
	0.000	CO2	0.80 ≤ 1	323)	Member with bending and compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
5	0.000	CO2	0.60 ≤ 1	341)	Flexural member with compression force acc. to 6.3.3 - Bending about y-axis
	<b>Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/42</b>				
	0.109	CO2	0.19 ≤ 1	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4
	0.000	CO2	0.79 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.000	CO2	0.49 ≤ 1	171)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4
6	0.000	CO2	0.49 ≤ 1	323)	Member with bending and compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
	<b>Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/42</b>				
	0.411	CO2	0.29 ≤ 1	101)	Cross-section resistance - Tension along the grain acc. to 6.1.2
	0.000	CO2	0.03 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.000	CO2	0.41 ≤ 1	161)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and tension acc. to 6.2.3
7	<b>Cross-section No. 5 - T-Rectangle 16/100</b>				
	0.145	CO2	0.36 ≤ 1	101)	Cross-section resistance - Tension along the grain acc. to 6.1.2
	0.000	CO2	0.48 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.000	CO2	0.85 ≤ 1	161)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and tension acc. to 6.2.3
	0.000	CO2	0.50 ≤ 1	311)	Flexural member without compression force acc. to 6.3.3 - Bending about y-axis
8	<b>Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/42</b>				
	0.616	CO2	0.27 ≤ 1	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4
	0.616	CO2	0.15 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.616	CO2	0.22 ≤ 1	171)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4
	0.000	CO1	0.11 ≤ 1	303)	Compression member with axial compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
9	0.616	CO2	0.49 ≤ 1	323)	Member with bending and compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
	<b>Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/42</b>				
	0.054	CO2	0.40 ≤ 1	101)	Cross-section resistance - Tension along the grain acc. to 6.1.2
	0.109	CO2	0.62 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.109	CO2	0.83 ≤ 1	161)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and tension acc. to 6.2.3
10	<b>Cross-section No. 5 - T-Rectangle 16/100</b>				
	0.000	CO2	0.22 ≤ 1	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4
	0.289	CO2	0.28 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.000	CO2	0.38 ≤ 1	171)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4
	0.000	CO2	0.55 ≤ 1	323)	Member with bending and compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
11	0.000	CO2	0.36 ≤ 1	341)	Flexural member with compression force acc. to 6.3.3 - Bending about y-axis
	<b>Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/42</b>				
	0.109	CO2	0.34 ≤ 1	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4
	0.000	CO2	0.49 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.109	CO2	0.40 ≤ 1	171)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4
12	0.109	CO2	0.40 ≤ 1	323)	Member with bending and compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
	<b>Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/42</b>				
	0.479	CO2	0.50 ≤ 1	101)	Cross-section resistance - Tension along the grain acc. to 6.1.2
	0.000	CO2	0.02 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.000	CO2	0.61 ≤ 1	161)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and tension acc. to 6.2.3
13	<b>Cross-section No. 5 - T-Rectangle 16/100</b>				
	0.000	CO2	0.18 ≤ 1	101)	Cross-section resistance - Tension along the grain acc. to 6.1.2
	0.000	CO2	0.28 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7



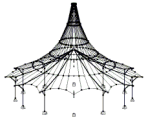
Project:

Model: Poutanen(5,2.42x98.ei\_siirtoa)

Date: 14.4.2016

## 2.4 DESIGN BY MEMBER

Member No.	Location x [m]	LC/CO/RC	Design	Acc. to Formula	
	0.000	CO2	0.53 ≤ 1	161)	6.1.7 Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and tension acc. to 6.2.3
	0.000	CO2	0.36 ≤ 1	311)	Flexural member without compression force acc. to 6.3.3 - Bending about y-axis
14	<b>Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/42</b>				
	0.616	CO2	0.38 ≤ 1	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4
	0.616	CO2	0.14 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.274	CO2	0.30 ≤ 1	171)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4
	0.548	CO1	0.16 ≤ 1	303)	Compression member with axial compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
	0.274	CO2	0.63 ≤ 1	323)	Member with bending and compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
15	<b>Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/42</b>				
	0.000	CO2	0.56 ≤ 1	101)	Cross-section resistance - Tension along the grain acc. to 6.1.2
	0.109	CO2	0.31 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
16	<b>Cross-section No. 5 - T-Rectangle 16/100</b>				
	0.000	CO2	0.11 ≤ 1	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4
	0.361	CO2	0.10 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.000	CO2	0.21 ≤ 1	171)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4
	0.000	CO2	0.31 ≤ 1	323)	Member with bending and compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
	0.000	CO2	0.16 ≤ 1	341)	Flexural member with compression force acc. to 6.3.3 - Bending about y-axis
17	<b>Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/42</b>				
	0.109	CO2	0.41 ≤ 1	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4
	0.000	CO2	0.18 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.109	CO2	0.28 ≤ 1	171)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4
18	<b>Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/42</b>				
	0.411	CO2	0.61 ≤ 1	101)	Cross-section resistance - Tension along the grain acc. to 6.1.2
	0.000	CO2	0.01 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.000	CO2	0.70 ≤ 1	161)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and tension acc. to 6.2.3
19	<b>Cross-section No. 5 - T-Rectangle 16/100</b>				
	0.000	CO2	0.01 ≤ 1	101)	Cross-section resistance - Tension along the grain acc. to 6.1.2
	0.362	CO2	0.11 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.000	CO2	0.24 ≤ 1	161)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and tension acc. to 6.2.3
20	<b>Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/42</b>				
	0.329	CO2	0.41 ≤ 1	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4
	0.000	CO2	0.14 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.329	CO2	0.34 ≤ 1	171)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4
21	<b>Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/42</b>				
	0.329	CO2	0.73 ≤ 1	323)	Member with bending and compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
	0.000	CO2	0.62 ≤ 1	101)	Cross-section resistance - Tension along the grain acc. to 6.1.2
	0.000	CO2	0.72 ≤ 1	161)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and tension acc. to 6.2.3
22	<b>Cross-section No. 5 - T-Rectangle 16/100</b>				
	0.361	CO2	0.01 ≤ 1	101)	Cross-section resistance - Tension along the grain acc. to 6.1.2
	0.000	CO2	0.11 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7
	0.361	CO2	0.24 ≤ 1	161)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and tension acc. to 6.2.3
23	<b>Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/42</b>				
	0.361	CO2	0.23 ≤ 1	311)	Flexural member without compression force acc. to 6.3.3 - Bending about y-axis
	0.000	CO2	0.41 ≤ 1	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4
	0.109	CO2	0.18 ≤ 1	111)	Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7



Project: Model: Poutanen(5,2.42x98.ei\_siirtoa)

Date: 14.4.2016

## 2.4 DESIGN BY MEMBER

Member No.	Location x [m]	LC/CO/RC	Design		Acc. to Formula	
24	0.000	CO2	0.28	≤ 1	171)	Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4 Member with bending and compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
	0.000	CO2	0.28	≤ 1	323)	
	Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/42					
	0.000	CO2	0.61	≤ 1	101)	Cross-section resistance - Tension along the grain acc. to 6.1.2 Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7 Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and tension acc. to 6.2.3
	0.616	CO2	0.01	≤ 1	111)	
0.616	CO2	0.70	≤ 1	161)		
25	Cross-section No. 5 - T-Rectangle 16/100					
	0.362	CO2	0.11	≤ 1	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4 Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7 Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4 Member with bending and compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes Flexural member with compression force acc. to 6.3.3 - Bending about y-axis
	0.000	CO2	0.10	≤ 1	111)	
	0.362	CO2	0.21	≤ 1	171)	
	0.362	CO2	0.31	≤ 1	323)	
	0.362	CO2	0.16	≤ 1	341)	
26	Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/42					
	0.000	CO2	0.38	≤ 1	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4 Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7 Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4 Compression member with axial compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes Member with bending and compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
	0.000	CO2	0.14	≤ 1	111)	
	0.342	CO2	0.30	≤ 1	171)	
	0.068	CO1	0.16	≤ 1	303)	
	0.342	CO2	0.63	≤ 1	323)	
27	Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/42					
	0.109	CO2	0.56	≤ 1	101)	Cross-section resistance - Tension along the grain acc. to 6.1.2 Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7 Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and tension acc. to 6.2.3
	0.000	CO2	0.31	≤ 1	111)	
	0.000	CO2	0.84	≤ 1	161)	
28	Cross-section No. 5 - T-Rectangle 16/100					
	0.361	CO2	0.18	≤ 1	101)	Cross-section resistance - Tension along the grain acc. to 6.1.2 Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7 Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and tension acc. to 6.2.3 Flexural member without compression force acc. to 6.3.3 - Bending about y-axis
	0.361	CO2	0.29	≤ 1	111)	
	0.361	CO2	0.53	≤ 1	161)	
	0.361	CO2	0.35	≤ 1	311)	
29	Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/42					
	0.000	CO2	0.34	≤ 1	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4 Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7 Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4 Member with bending and compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
	0.109	CO2	0.49	≤ 1	111)	
	0.000	CO2	0.40	≤ 1	171)	
	0.000	CO2	0.40	≤ 1	323)	
30	Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/42					
	0.000	CO2	0.50	≤ 1	101)	Cross-section resistance - Tension along the grain acc. to 6.1.2 Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7 Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and tension acc. to 6.2.3
	0.616	CO2	0.02	≤ 1	111)	
	0.616	CO2	0.61	≤ 1	161)	
31	Cross-section No. 5 - T-Rectangle 16/100					
	0.362	CO2	0.22	≤ 1	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4 Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7 Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4 Member with bending and compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes Flexural member with compression force acc. to 6.3.3 - Bending about y-axis
	0.072	CO2	0.28	≤ 1	111)	
	0.362	CO2	0.38	≤ 1	171)	
	0.362	CO2	0.56	≤ 1	323)	
	0.362	CO2	0.36	≤ 1	341)	
32	Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/42					
	0.000	CO2	0.27	≤ 1	102)	Cross-section resistance - Compression along the grain acc. to 6.1.4 Cross-section resistance - Shear due to shear force Vz acc. to 6.1.7 Cross-section resistance - Uniaxial bending about y-axis and compression acc. to 6.2.4 Compression member with axial compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes Member with bending and compression acc. to 6.3.2 - Buckling about both axes
	0.000	CO2	0.15	≤ 1	111)	
	0.000	CO2	0.22	≤ 1	171)	
	0.616	CO1	0.11	≤ 1	303)	
	0.000	CO2	0.49	≤ 1	323)	

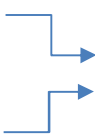


Project: Model: Poutanen(5,2.42x98.ei\_siirtoa)

Date: 14.4.2016

## 2.4 DESIGN BY MEMBER

Member No.	Location x [m]	LC/CO/RC	Design	Acc. to Formula	
33	<b>Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/42</b>				
	0.054	CO2	0.40	≤ 1	101)
	0.000	CO2	0.62	≤ 1	111)
34	<b>Cross-section No. 5 - T-Rectangle 16/100</b>				
	0.217	CO2	0.35	≤ 1	101)
	0.361	CO2	0.48	≤ 1	111)
35	<b>Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/42</b>				
	0.000	CO2	0.19	≤ 1	102)
	0.109	CO2	0.79	≤ 1	111)
36	<b>Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/42</b>				
	0.205	CO2	0.29	≤ 1	101)
	0.616	CO2	0.03	≤ 1	111)
37	<b>Cross-section No. 5 - T-Rectangle 16/100</b>				
	0.362	CO2	0.32	≤ 1	102)
	0.145	CO2	0.51	≤ 1	111)
38	<b>Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/42</b>				
	0.000	CO2	0.09	≤ 1	102)
	0.616	CO2	0.13	≤ 1	111)
39	<b>Cross-section No. 1 - T-Rectangle 98/42</b>				
	0.054	CO2	0.14	≤ 1	101)
	0.000	CO2	0.89	≤ 1	111)
40	<b>Cross-section No. 5 - T-Rectangle 16/100</b>				
	0.361	CO2	0.46	≤ 1	101)
	0.000	CO2	0.42	≤ 1	111)

Painuma 1kN kuormasta					
$\delta \leq 0,5 \text{ mm} \cdot k$ Välipohjan painuma					
$\delta$ lasketaan valitsemalla pienemmän arvon seuraavista antava kaava					
$\delta = \frac{Fl^2}{42 k_{\delta} (EI)_l}$	=	0,523		$0,523 \leq k \cdot 0,5 \text{ mm}$	
$\delta = \frac{Fl^3}{48 s (EI)_l}$	=	1,595		0,55	OK
$k_{\delta}$	lasketaan kaavasta, ehtona		$k_{\delta} \leq b/l$	=	0,922 OK
			<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">b</div>	4800	mm
$k_{\delta} = \sqrt[4]{\frac{(EI)_b}{(EI)_l}}$	=	0,301			
missä					
$F$	1000	pistekuorma [N]			
$l$	5208	jänneväli [mm]			
$s$	450	palkki jako [mm]			
$(EI)_l$	4,100E+09	taivutusjäykkyys leveysyksikköä kohden l-suunnassa [Nmm <sup>2</sup> /mm]			
$E_p$	11000	taivustuskimmomoduuli palkin suunnassa [N/mm <sup>2</sup> ]			
$I_p$	138198816	jäyhyysmomentti palkin suunnassa [mm <sup>4</sup> ]			
$(EI)_b$	3,385E+07	taivutusjäykkyys leveysyksikköä kohden b-suunnassa [Nmm <sup>2</sup> /mm]			

Palkin painuma 1kN:n pistekuormasta				
$\delta_L = \frac{Fl^3}{48EI}$	=	1,94	mm	

Huoneen koosta riippuva taipumarajoituksen korotuskerroin k		
$k = \frac{1}{0,318 + 0,114l} \geq 1$	=	1,1
Välipohjan sallittu taipuma korotuskertoimella		
$k \cdot 0,5mm$	=	0,55 mm

Ristikön jäyhyysmomentti		
$I_p = \frac{a(H^3 - h^3)}{12}$	=	138198816 mm <sup>4</sup>
a	98	paarteen leveys [mm]
H	300	ristikkopalkin korkeus [mm]
h	216	paarteiden väliin jäävän aukon korkeus [mm]
Palkin taivutusjäykkyys		
$(EI)_{palkki} = \frac{E_p I_p}{s}$	=	3,378E+09 Nmm <sup>2</sup> /mm
Liimatun T-poikkileikkauksen taivutusjäykkyys (palkin suunnassa)		
$(EI)_T = \frac{(2,2 - 0,1l)(0,4 + s)(EI)_p}{s}$	=	4,822E+09 Nmm <sup>2</sup> /mm
Taivutusjäykkyys kohti suoraan palkin suuntaa vastaan (aluslattialevy+poikkijäykisteet+alakaton koolaus)		
$(EI)_b = \text{vertailulaskelmat}$	=	3,385E+07 Nmm <sup>2</sup> /mm

Lattian värähtely mitoitus				
Yhteensuuntaan kantavan lattian alin ominaistaajuus				
$f_1 = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}}$	=	10,60	Hz	> 9Hz OK
missä				
$l$	5,208	jänneväli [m]		
$(EI)_l$	4,100E+06	taivutusjäykkyys leveysyksikköä kohden l-suunnassa [Nm <sup>2</sup> /m]		
$m$	122,324	omapaino+0,3xhyötykuorma [kg/m <sup>2</sup> ]		
$E_p$	11000	taivustuskimmomoduuli palkin suunnassa [N/mm <sup>2</sup> ]		
$I_p$	138198816	jäyhyysmomentti palkin suunnassa [mm <sup>4</sup> ]		
$s$	0,45	palkki jako [m]		

Ristikön jäyhyysmomentti			
$I_p = \frac{a(H^3 - h^3)}{12}$	=	138198816	mm <sup>4</sup>
a	98	paarteen leveys [mm]	
H	300	ristikkopalkin korkeus [mm]	
h	216	paarteiden väliin jäävän aukon korkeus [mm]	
Palkin taivutusjäykkyys			
$(EI)_{palkki} = \frac{E_p I_p}{s}$	=	3,378E+06	Nm <sup>2</sup> /m
Liimatun T-poikkileikkauksen taivutusjäykkyys (palkin suunnassa)			
$(EI)_T = (2,2 - 0,1l)(0,4 + s)(EI)_p$	=	4821762,832	Nm <sup>2</sup> /m

Laskenta kuorma				
$m = \frac{(g_k + 0,3 \cdot q_k)}{9,81} 1000$	=	122,3	kg/m <sup>2</sup>	
$g_k$	0,6	rakenteen omapaino [kN/m <sup>2</sup> ]		
$q_k$	2	hyötykuorma [kN/m <sup>2</sup> ]		



Hetkellinen taipuma				
$w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q}$	=	8,4	mm	OK
Taipumaraja L/400 =	13,7	mm		
Omanpainon ja hyötykuorman aiheuttamat taipumat RFEM-ohjelmasta				
$w_{inst,G}$	=	2,2	mm	
$w_{inst,Q}$	=	6,2	mm	

Lopputaipuma				
$w_{fin} = (1 + k_{def}) \cdot w_{inst,G} + (1 + 0,3 + k_{def}) \cdot w_{inst,Q}$				
=	10,8	mm	OK	
Käyttöluokassa 1 sahatavaralle	$k_{def} = 0,6$			
Taipumaraja L/300 =	18,3	mm		